

Les effets des politiques de l'eau sur l'adaptation de l'agriculture au changement climatique : Le cas du Guadalquivir

Oihana Luque¹

Nina Graveline²

¹Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

²Université de Montpellier, UMR Innovation, UMR G-EAU, INRAE.

Abstract

Les effets du changement climatique sur le secteur agricole dans les territoires arides et semi-arides sont multiples et il est crucial d'étudier les mesures d'adaptation envisageables. Parmi ces mesures, l'irrigation et la gestion collective de l'eau ont une place centrale tant les ressources en eau sont fortement sous-tension et sont d'ores et déjà indispensables dans certaines régions pour le maintien d'une partie du secteur agricole. Des politiques efficaces et robustes ainsi que leur évaluation dans un contexte de changement climatique sont nécessaires. Ce travail analyse les effets des politiques et leurs instruments de gestion de l'eau sur la capacité d'adaptation du secteur agricole au changement climatique dans un territoire du Sud de l'Europe, le bassin du Guadalquivir en Andalousie. Pour ce faire une perspective historique est adoptée. Nous distinguons les politiques de l'eau d'une part et l'évolution de l'agriculture d'autre part. Une étude de terrain complète cette analyse et a permis d'étudier les adaptations de court terme des agriculteurs lors d'une sécheresse. Celle-ci suggère que si la trajectoire semble assez peu résiliente mais performante du point de vue économique, les agriculteurs ont encore des marges de manœuvre pour l'optimisation de l'usage de l'eau.

Mots clés : Agriculture, Changement climatique, Trajectoire, Irrigation, Eau, Economie, Guadalquivir.

1 Introduction

Le secteur agricole est et fera partie des secteurs les plus touchés par le changement climatique surtout dans les régions arides et semi-arides. Dans ces régions le changement climatique se traduira par une hausse des températures et de l'évapotranspiration et des précipitations plus incertaines et moins importantes. Ceci affectera non seulement les cultures pluviales et irriguées mais aussi les écosystèmes [29]. L'Europe du Sud est une des régions les plus vulnérables : il est attendu d'une part la réduction tendancielle de la disponibilité des eaux de surface et souterraines et une augmentation des événements extrêmes comme les sécheresses [32] ainsi qu'une augmentation de la variabilité et de l'incertitude sur la disponibilité des ressources et d'autre part un accroissement des demandes en eau à cause de l'augmentation de l'évapotranspiration des plantes. Ainsi, compte tenu de la plus grande variabilité du climat, de la modification des schémas de température et des précipitations, de nombreux aspects de la production agricole seront affectés. Les systèmes agricoles devront fonctionner sous de plus grands niveaux de perturbation à l'avenir [33]. La question de l'adaptation au changement climatique devient dès lors fondamentale.

Selon la définition du Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat (GIEC), l'adaptation est la démarche d'ajustement au climat actuel ou à venir et à ses conséquences se traduisant par la prise en compte du long terme des individus. Il s'agit à la fois de réduire les effets préjudiciables du changement climatique tout en exploitant les effets bénéfiques [29]. La réduction de la vulnérabilité, souvent utilisée dans le domaine de la gestion du risque, est une forme d'adaptation et décrit les actions qui réduisent les risques. La résilience se définit comme la capacité d'un système à anticiper, récupérer et même rebondir à la suite d'un événement [19]. Une question centrale est donc : "Quelles sont les stratégies et les mesures d'adaptation qu'il faut mettre en place pour accroître la résilience du secteur agricole face au changement climatique ?"

Parmi ces mesures celles concernant la gestion de l'eau sont centrales notamment dans le pourtour méditerranéen où l'irrigation est devenue quasi-essentielle pour le maintien des cultures traditionnelles comme l'olive, la vigne et

moins traditionnelles comme l'arboriculture (les agrumes et les amandes par exemple). Pour d'autres régions, historiquement non irriguées, comme l'ex-Languedoc-Roussillon, la question est celle des effets de l'accès à l'eau et de son allocation qui risque à terme de n'être plus sécurisée.

Deux leviers d'adaptation au changement climatique propres aux systèmes irrigués peuvent donc être mobilisés: (i) la gestion de l'offre ou le développement de l'accès à l'irrigation dans des territoires où la majorité de l'agriculture n'était pas irriguée. L'accès à l'eau doit permettre aux agriculteurs de sécuriser leurs rendements et leurs revenus et de conserver des niveaux satisfaisants de production en cas de sécheresse et (ii) la gestion de la demande en eau d'irrigation dans les territoires historiquement irrigués soit pour anticiper la diminution des ressources en eau soit pour partager cette ressource. L'enjeu est alors de réduire la demande en eau au moins à certains moments ou lors de certaines années. Dans le premier cas il s'agit de s'interroger sur la pertinence à court mais aussi à long terme de l'irrigation en prenant en compte les nombreuses incertitudes et risques qui portent sur le climat, les ressources et l'évolution du secteur agricole. Par exemple, en conduisant des analyses coûts – bénéfiques de ces projets collectifs ou individuels d'irrigation [22] tout en intégrant l'incertitude. C'est également l'enjeu des travaux portant sur la maladaptation qui peut être définie comme une action prise a priori afin d'éviter ou de réduire la vulnérabilité au changement climatique et qui impacte négativement, ou augmente la vulnérabilité d'autres systèmes, secteurs ou groupes sociaux. [2]. Dans le deuxième cas, une réflexion sur l'efficacité et la justesse des instruments de régulation et leur combinaison doit être menée.

L'objectif de cet article est de proposer une analyse des instruments de gestion quantitative de l'eau dans le Guadalquivir sur la capacité du secteur agricole à s'adapter au changement climatique. Autrement dit, dans quelle mesure les instruments et politiques de gestion de l'eau favorisent-ils ou non l'adaptation au changement climatique de l'agriculture ? Est-ce que la trajectoire de développement de l'agriculture irriguée est durable et efficace face à l'accroissement de la fréquence et de l'intensité des sécheresses ? Comment s'adapte l'agriculture à la baisse de la disponibilité en eau et quels outils mobilise-t-elle ?

Nous avons développé et testé ce cadre sur le cas du bassin du Guadalquivir en Andalousie (Espagne). Ce cas apparaît particulièrement intéressant à analyser depuis la France, notamment pour un territoire comme le Languedoc-Roussillon, dont les surfaces irriguées sont en augmentation. Dans le bassin versant du Guadalquivir, principal bassin de l'Andalousie, la succession d'outils et d'instruments économiques a marqué indéniablement la trajectoire agricole actuelle. S'il existe une tradition de l'irrigation depuis des décennies dans les plaines et les deltas du Guadalquivir, l'accès à l'eau a d'abord été un choix politique de développement de l'agriculture et de sécurisation des récoltes. Ensuite on a pu observer un changement significatif de l'orientation des systèmes agricoles vers des cultures qui valorisent davantage l'eau. Aujourd'hui, dans ce bassin l'objectif est de concilier la préservation d'une ressource fortement sollicitée tout en répondant aux besoins du secteur agricole dont la production est devenue dépendante des apports en eau. La question du rôle des instruments de gestion dans l'adaptation de l'agriculture au changement climatique n'est donc que très peu évoquée (voire pas du tout). Cette question n'est pas non plus présente dans la littérature scientifique.

Cet article est organisé de la manière suivante : après avoir décrit la méthodologie employée, nous présentons les terrains d'études puis retraçons et analysons d'une part, l'histoire des principaux instruments et outils de gestion et, d'autre part, la trajectoire d'usage des terres du secteur agricole. Enfin, nous énonçons les principaux résultats sur (i) la capacité des instruments à favoriser ou non l'adaptation au changement climatique et sur (ii) la vulnérabilité ou la robustesse de l'agriculture face au changement climatique. Afin de pouvoir les discuter, une étude basée sur une enquête de terrain a été menée au sein d'une communauté d'irrigants du bassin du Guadalquivir.

2 Méthode

La question de recherche centrale est celle de la capacité des instruments à favoriser l'adaptation de l'agriculture au changement climatique. Il apparaît crucial de pouvoir les évaluer au regard de leur performance face aux objectifs environnementaux, économiques et sociaux. Cependant, l'analyse ex-post de ces instruments s'avère particulièrement délicate dans la mesure où de très nombreux facteurs ont affecté l'évolution et la capacité d'adaptation de l'agriculture. L'isolement de l'effet des politiques de gestion de l'eau est donc complexe. Il nous a paru pertinent d'analyser une trajectoire d'évolution de long terme et d'étudier la performance du secteur agricole dans un contexte incertain de changement climatique.

Cet article vise donc à déterminer les effets des politiques du bassin du Guadalquivir depuis les années 1990 sur l'adaptation du secteur agricole au changement climatique. Pour ce faire, nous avons analysé dans un premier temps l'histoire et la trajectoire de la gestion de l'eau dans le bassin du Guadalquivir. Dans un deuxième temps, nous avons étudié les changements du secteur agricole et plus concrètement les changements dans la répartition des cultures dans le

bassin et dans la communauté. Cela nous a permis de discuter (i) l'effet des politiques sur l'adaptation au changement climatique du secteur agricole et (ii) la capacité de l'agriculture actuelle et future à faire face au changement climatique.

Les politiques de l'eau et les trajectoires agricoles ont été appréhendées à divers niveaux d'échelle (de manière dite multiscalaire ou emboîtée) : à l'échelle du bassin versant du Guadalquivir et à l'échelle d'une de ses communautés d'irrigants. De tels changements d'échelle, par leurs effets de "zoom" avant ou arrière, modifient les perceptions et les représentations et permettent de révéler des réalités différentes. Par ailleurs, cette approche nous a permis d'analyser la mise en place concrète d'instruments économiques et surtout d'étudier les pratiques d'adaptation à la sécheresse.

2.1 Les cadres conceptuels

Afin d'analyser au mieux les effets des politiques sur la capacité du secteur agricole à s'adapter au changement climatique nous avons mobilisé le cadre conceptuel dynamique de trajectoire qui se définit comme une "évolution temporelle sur le long terme qui relie l'état général d'un système et son fonctionnement et les évolutions de la société" [10]. Pour analyser les trajectoires nous mobilisons (i) un cadre conceptuel d'analyse des grands bassins versants [35, 40] et (ii) des indicateurs d'évaluation de trajectoires.

2.1.1 Les phases de gestion quantitative d'un bassin : d'une ressource en libre accès à la fermeture de bassin

Les trajectoires des bassins fluviaux se définissent comme l'interaction de long terme entre les sociétés et leurs environnements, avec un accent sur le développement et la gestion de l'eau et des ressources associées [40]. Une trajectoire de bassin englobe les efforts humains pour évaluer, capter, transporter, stocker, partager et utiliser les ressources en eau disponibles, modifiant ainsi les paysages aquatiques et transformant certaines parties du cycle hydrologique en un cycle hydro social ¹ [41]. Elle inclut également les efforts humains pour faire face aux menaces posées par des "événements de choc" particuliers tels que les sécheresses, les inondations et les incidents de contamination, et pour atteindre un degré de durabilité environnementale. Enfin, la trajectoire d'un bassin comprend les changements institutionnels et les relations de pouvoir changeantes qui régissent l'accès aux ressources en eau et leur contrôle.

Le cadre conceptuel d'analyse de l'évolution de grands bassins permet de distinguer différentes "phases-types". En effet, l'évolution de la gestion des grands bassins -Murray-Darling, Guadalquivir, Guadiana- est assez semblable. Ce sont des bassins dits en "déficit structurel d'eau" ² dans lesquels entre 75% et 90% de la demande totale en eau provient du secteur agricole et qui sont aujourd'hui "fermés", c'est-à-dire où toute l'eau disponible est utilisée pour et par les humains.

La fermeture d'un bassin est par définition un "processus d'origine humaine ou anthropique qui se manifeste par des impacts sociétaux aussi bien que physiques" [42]. C'est un processus qui va au-delà de la simple poursuite des stratégies axées sur l'offre et d'un mépris pour les stratégies de gestion de la demande et pour l'environnement, il inclut aussi le développement d'infrastructures dont la demande potentielle en eau dépasse les ressources du bassin et la résilience des écosystèmes. En reprenant le cadre conceptuel de [35, 41] et les grandes étapes menant à la fermeture du bassin du Guadalquivir et à sa construction [1, 8] il est possible de distinguer 5 phases :

- **La phase exploratoire** : L'usage de l'eau se développe timidement à partir de petites retenues et de puits, donc principalement par des accès individuels à l'eau sous initiative et financement privé. Les surfaces irriguées augmentent légèrement. La ressource en eau est bien supérieure à la demande. Il n'existe pas à proprement parler de régulation d'eau.
- **La phase d'expansion/ développement-ouverture** : Des années 1950 à 1980, les Etats contrôlent la ressource des bassins des régions arides et investissent massivement dans la construction de grandes infrastructures hydrauliques comme les barrages ou les retenues afin de maîtriser la ressource et d'augmenter la capacité de stockage. En parallèle, la demande pour l'irrigation augmente aussi : les surfaces équipées en priorité se situent dans les zones fertiles comme les deltas et les plaines c'est-à-dire celles qui sont les moins coûteuses à équiper et qui valoriseront bien cette eau. Dans cette phase la loi de Say s'applique : "l'offre crée sa propre demande".

¹J. Budds et J. Linton (2014) [?] ont défini le cycle hydrosocial comme "a socio-natural process by which water and society make and remake each other over space and time". Cette notion leur permet de transcender "the dualistic categories of 'water' and 'society', and employ a relational-dialectical approach to demonstrate how instances of water become produced and how produced water reconfigures social relations".

²Le manque d'eau structurel est un "phénomène durable qui apparaît lorsque le déséquilibre entre offre et demande en eau est quasi permanent, que ce soit à cause d'une série de sécheresses physiques ou à cause de décisions de gestion" (Soubeyroux et al., 2010).

- **La phase de saturation** : Les agriculteurs qui n'ont pas eu en premier accès à l'eau lors de la phase précédente en font la demande pour diverses raisons (augmentation des rendements, sécurisation des cultures, etc) et les surfaces irriguées continuent de croître. La consommation en eau est supérieure aux niveaux soutenables (dégradation des écosystèmes et disparition d'espèces). Les prélèvements illégaux se multiplient tout comme les tensions et les conflits d'usage.
- **La fermeture de bassin** : Les ressources en eau de surface et souterraines sont surexploitées ; des politiques de régulation de la demande se mettent en place afin de plafonner les besoins en eau et de la réallouer pour l'environnement. Concrètement les prélèvements sont revus à la baisse et fortement régulés et contrôlés.
- **La phase adaptative** : Le bassin ne peut plus répondre à de nouvelles demandes, toutes les ressources sont allouées entre les différents secteurs et entre les usagers. Ce sont des politiques de régulation de la demande qui prédominent (marchés d'eau ou quotas transférables, modernisation, etc).

2.1.2 Deux indicateurs d'évaluation des trajectoires

S'il n'est pas apparu opportun d'évaluer la pertinence d'instruments spécifiques pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique hors contexte, l'évaluation des trajectoires agricoles, elles-même résultantes de nombreux facteurs de changements, peut apporter un enseignement à posteriori sur les facteurs de changements et la capacité de l'agriculture à s'adapter au stress hydrique.

La résilience est définie comme la propension d'un système à conserver sa structure organisationnelle et sa productivité même après une perturbation [28]. Ainsi, un système agricole résilient devra continuer à fournir des services vitaux comme la production alimentaire même en cas de sécheresse par exemple. Dans notre étude, deux notions complémentaires permettront de formuler des hypothèses sur la résilience et l'adaptation au changement climatique du système agricole analysé : la robustesse et la flexibilité.

La robustesse est définie comme la capacité d'un système à "éviter les cas critiques et assurer une satisfaction minimale dans tous les cas" [24] et la flexibilité comme la capacité à faire face aux fluctuations et à des perturbations externes et imprévisibles. La robustesse traduit la capacité d'un secteur -ici l'agriculture- à supporter les crises et les événements extrêmes. En termes économiques par exemple, on parle d'un système robuste lorsque les rendements d'une exploitation ou son revenu ne baissent pas en dessous d'une valeur seuil. Eviter les années critiques revient parfois à renoncer à des choix plus profitables durant une année : en cela la robustesse diffère de l'optimalité. C'est en partie grâce à la flexibilité qu'un système peut s'adapter et conserver sa structure et ses fonctions essentielles [15]. Dans le cas de l'agriculture, des adaptations de court terme comme le fait de planter des cultures moins demandeuses en eau en cas d'annonce de sécheresse ou de pouvoir embaucher de la main d'œuvre facilement ou encore de trouver d'autres débouchés pour ses produits agricoles illustrent un comportement flexible.

2.2 Collecte de données

Deux types de données ont été mobilisées afin de mener à bien nos analyses : (i) des données qualitatives basées sur des recherches bibliographiques et des entretiens et (ii) des données quantitatives économiques et agricoles.

2.2.1 Des données qualitatives

La compréhension des enjeux de la gestion de l'eau en France a donné lieu à 7 enquêtes (voir annexe sur les personnes rencontrées). Celles-ci se sont d'abord centrées sur les politiques mises en place au niveau national et dans un deuxième temps sur leurs applications à l'échelle d'un bassin (Rhône-Méditerranée-Corse), puis d'un sous-bassin (bassin versant de l'Aude et de l'Hérault). Celles-ci nous ont permis de comprendre les enjeux du développement de l'irrigation dans le territoire.

Pour l'analyse de l'histoire des politiques de l'eau dans le bassin du Guadalquivir 4 entretiens qualitatifs semi-directifs ont été menés avec des représentants des services publics concernés : le Chef du Bureau de la Planificación Hydrologique, le chef du Service technique de Feragua (association andalouse d'irrigants), le directeur technique de la communauté des irrigants du Canal du Genil et le chef du département gestion du domaine public hydraulique de la Junte d'Andalousie.

Pour la discussion des hypothèses à l'échelle d'une communauté d'irrigants, des multiples entretiens ont été menés avec le directeur de la communauté d'irrigants qui nous a permis de rentrer en contact avec plusieurs agriculteurs de la zone. C'est auprès de ces derniers que nous avons réalisé 10 entretiens qualitatifs semi-directifs d'une durée allant de 45 minutes à 1 heure. Ils se sont faits entre le 26 et le 31 juillet en pleine campagne d'irrigation. Un guide de questions a été suivi et comprenait des questions relatives à l'histoire de l'exploitation, aux grands changements opérés dernièrement dans l'exploitation (modernisation de l'irrigation, changement de cultures, agrandissement, conversions

à l'agriculture biologique, etc.) et aux méthodes d'adaptation à la sécheresse hydraulique actuelle.

Les données incluaient des profils assez variés : (i) en termes de taille : 3 exploitants agricoles avaient entre 80 et 100 hectares, 3 entre 50 et 80 hectares, 2 entre 10 et 50 hectares et 2 moins de 10 hectares, (ii) de culture : si plus de la moitié des agriculteurs avaient des agrumes (60%), 2 agriculteurs avaient des cultures maraichères et 2 des oliviers ou des amandiers, (iii) de type de culture : sur les 10 exploitants agricoles questionnés 3 étaient en agriculture biologique/biodynamique ou en train de se convertir vers des pratiques écologiques ce qui représente davantage qu'au niveau national où seulement 10% de la superficie agricole est destinée à la production biologique [?].

2.2.2 Des données quantitatives

Afin de compléter la réflexion, des données ont été collectées sur le site du ministère de l'Agriculture et de l'environnement Espagnol, sur la Junte de l'Andalousie, et sur la Confédération du Guadalquivir [11, 30, 38]. Ces données concernaient la distribution des cultures, les dotations moyennes en eau accordées dans le bassin du Guadalquivir, les marges brutes et nettes des cultures et le prix des terres. Aussi, des données de la communauté d'irrigants ont été utilisées sur le profil des exploitants agricoles, sur la moyenne des prélèvements d'eau accordés, sur les échanges d'eau et sur la distribution des cultures.

3 Présentation des terrains d'étude

3.1 Descriptions et principales caractéristiques

3.1.1 Le bassin du Guadalquivir

Le Guadalquivir est la plus longue rivière dans le sud de l'Espagne (650 km) et draine un bassin de 57 227 km².



Figure 1: Le bassin du Guadalquivir et la Communauté d'irrigants de la Marge Gauche du Canal du Genil

Les ressources renouvelables moyennes dans le bassin s'élèvent à 7 043 hm³ (moyenne arithmétique) et 5 078 hm³/an (médiane), allant d'un minimum de 372 hm³/an à un maximum de 15 180 hm³/an [1]. La demande en eau est de 3 800 hm³ par an dont 3 400 hm³ soit 87% correspond à la demande en eau pour l'irrigation et la demande urbaine représente 10% du total en 2015. La majorité (66%) des ressources sont régulées (contrôlées et soumises à des tarifs) et 80% de la demande est satisfaite par des ressources en eau superficielles [12]. Le climat dans le bassin est méditerranéen : la distribution des précipitations est assez hétérogène (moyenne de 598 mm sur les 25 dernières années) et la température moyenne est de 16,8°C. Le bassin connaît de manière récurrente des épisodes de sécheresse qui obligent la mise en place du Plan sécheresse. La distribution des précipitations est très variable intra-annuellement et inter-annuellement (Figure 2.2).

En termes économiques, l'irrigation recouvre actuellement un tiers du territoire agricole andalou et génère les deux tiers de la production finale et des emplois agricoles. Aujourd'hui le bassin n'admet plus de nouvelles demandes puisqu'il n'existe plus de ressources à allouer.

Concernant les effets attendus du changement climatiques ceux-ci affectent et affecteront à la fois l'offre et la demande en eau. A l'horizon 2040-2070, il est attendu dans le bassin Guadalquivir une diminution de 7% à 11% en

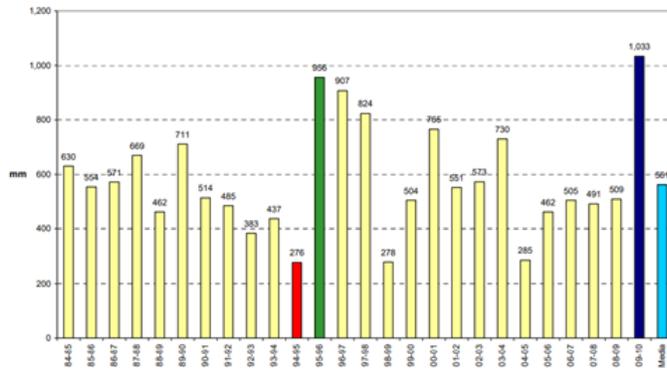


Figure 2: Moyenne des précipitations enregistrées dans les réservoirs du bassin du Guadalquivir au cours de la période 1919-2020 par rapport aux valeurs moyennes des 25 années précédentes, Source ”Informe hidrografico, CHG 2020”

moyenne des précipitations, une augmentation de l'évapotranspiration potentielle ³ entre 7% et 10% et une diminution des apports d'eau ⁴ de 10% à 18% par rapport à la période de référence 1961-2000 et selon les scénarios considérés (RCP 4.5 et RCP 8.5)[36]. Ceci mènera donc à une diminution générale de l'offre en eau. Parallèlement, la modélisation des besoins en eau d'irrigation montre une augmentation de 15 à 20 % des besoins saisonniers en irrigation d'ici les années 2050 [45].

3.1.2 La communauté d'irrigants de la marge gauche du Canal du Genil (CIMGCG)

La communauté des irrigants de la Marge Gauche du Canal du Genil (CIMGCG), située dans les provinces de Séville et Cordoue dans la plaine alluviale du Guadalquivir (la ”Vega del Guadalquivir”), couvre 6200 hectares. Elle comprend 3 municipalités : Palma del Rio, Peñaflor et Lora del Rio. Cette zone est considérée comme l'une des plus fertiles de l'Espagne. Actuellement, la communauté est constituée de 622 irrigants. 60% des cultures irriguées sont des agrumes et 80% de la production est destinée à l'exportation.

Parmi les profils très divers de la communauté, il est possible de différencier 3 grands types en fonction de la taille de l'exploitation :

- Des ”grands entrepreneurs” : ce sont des agriculteurs ayant beaucoup de terres (plus de 50 hectares) dans la communauté et même parfois dans plusieurs communautés. Parmi ces agriculteurs on peut distinguer :
 - Les ”anciens agriculteurs” appartenant à des familles de la région qui avaient des terres bien avant la création de la communauté. Ces agriculteurs ont jusqu'à récemment privilégié les cultures annuelles mais aujourd'hui se tournent vers les cultures pérennes.
 - Les ”nouveaux arrivants” installés dans la région depuis peu (moins de 5 ans) grâce à l'achat de beaucoup de terres qu'ils ont converti en monoculture. Par exemple il y a deux ans un entrepreneur s'est installé et a acheté 200 hectares pour ne planter que des noyers de pécan. Un autre a acheté 100 hectares et a planté 50 hectares d'oliviers et 50 hectares d'amandiers. Ces personnes n'étaient pas des agriculteurs auparavant et ont d'autres activités professionnelles qui leur permettent de diversifier leur revenu.
- Les ”agriculteurs moyens” qui ont entre 10 hectares et 50 hectares. Ils sont originaires pour la plupart de la région et se sont agrandis au fil des années.
- Les ”petits agriculteurs” qui ont moins de 10 hectares et même parfois qu'un seul hectare d'agrumes ou d'oliviers. Ils sont souvent tentés par la vente de leurs terres tant celles-ci ont pris de la valeur ces dernières

³L'évapotranspiration potentielle (ETP) ou potentiel d'évaporation d'un sol est défini comme la quantité d'évaporation qui pourrait se produire en cas d'approvisionnement en eau suffisant. Si l'évapotranspiration réelle considère la demande nette de l'atmosphère en humidité par rapport à une surface et la capacité de cette surface à fournir l'humidité, l'ETP est une mesure de la demande. La surface, les températures de l'air, l'ensoleillement et le vent influencent tous le phénomène. Une zone aride est un endroit où le potentiel annuel d'évaporation excède les précipitations annuelles

⁴L'apport total est le volume d'eau qui peut être comptabilisé en un point d'un bassin hydrographique. Il est le résultat de la somme des écoulements annuels (de surface et souterrains) de tous les points situés en amont. Il convient de garder à l'esprit que la contribution calculée se situe dans le régime naturel, de sorte que, par exemple, les utilisations consommatrices d'eau ou la régulation exercée par les réservoirs ne sont pas prises en compte.

années. Leur production n'est qu'un simple complément de revenu, ils ont généralement d'autres activités professionnelles.

Profils	Grands (>50ha)		Moyens (entre 10 et 50 ha)		Petits (<10ha)		Total	
	2013	2021	2013	2021	2013	2021	2013	2021
Années	2013	2021	2013	2021	2013	2021	2013	2021
Nombre d'exploitations	19	26	117	118	486	450	622	594
Hectares	1755	2331	2410	2430	1295	1223	5460	6184
Pourcentage	32%	40%	44%	40%	24%	20%	100%	100%

Table 1: Répartition des terres en fonction des profils des agriculteurs entre 2013 et 2021, Source: élaboration propre d'après les données de la CIMGCG

Même si nous ne disposons que de données sur la répartition des terres avant 2013 il est tout de même possible de constater le phénomène de concentration de terres. Entre 2013 et 2021 la part des "grands agriculteurs" a augmenté de 32% à 40% au détriment des moyens et des petits agriculteurs qui représentent respectivement 40% et 20% contre 44% et 24% en 2013.

3.2 Les modalités de gestion de l'eau dans le bassin du Guadalquivir

3.2.1 Le cadre de gouvernance de l'eau : la Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

La Directive cadre sur l'eau est une directive de l'Union Européenne adoptée en octobre 2000. Elle harmonise la réglementation européenne en matière de gestion de l'eau et instaure l'obligation de protéger et restaurer la qualité des eaux et des milieux aquatiques dans l'ensemble de l'Union européenne. Elle a pour objectif le bon état écologique et chimique de 100% des masses d'eau (nappe, rivière, plan d'eau et estuaire) à l'horizon 2015, avec possibilité de proroger deux fois cette date butoir (échéances 2021, 2027). Aussi, la DCE préconise :

- Une gestion globale de la ressource en eau par grands bassin versants.
- La "transparence des coûts" liés à la réparation des dommages causés à l'environnement, pour appliquer correctement le principe du pollueur-payeur ou mise en place d'une tarification incitative.
- La consultation du public et la participation de tous les acteurs dans l'élaboration des politiques de l'eau.

3.2.2 Le rôle des Confédérations hydrauliques

En Espagne les ressources hydriques sont gérées à l'échelle d'un bassin voire d'un sous-bassin par des "agences de l'eau" appelées Confédération hydrographiques attachées au Ministère de la Transition Ecologique. Ce sont des entités de droit public dotées de personnalité juridique qui représentent l'autorité maximale en termes de gestion de l'eau. Elles ont comme objectifs principaux la réalisation et le suivi des plans hydrologiques, l'administration et le contrôle des ressources hydriques publiques (préservation de l'environnement et de la qualité des eaux), la construction, l'exploitation et le maintien des infrastructures réalisées grâce aux fonds propres de l'organisation et confiées par le Gouvernement. Les Confédérations sont aussi chargées d'accorder les concessions de droits d'eau. Par exemple, la Confédération Hydrographique du Guadalquivir est propriétaire d'une cinquantaine de barrages, a sa propre police de l'eau et émet son propre impôt ("canon de agua") qu'elle prélève notamment à travers les communautés d'irrigants pour le secteur agricole.

3.2.3 Le rôle des communautés d'irrigants

Les communautés d'irrigants sont des sociétés de droit public rattachées à l'autorité de la Confédération qui bénéficient d'une autonomie interne de gestion. Elles ont comme rôle l'organisation de l'exploitation collective des eaux publiques de surface et souterraines. Leur principale fonction est la distribution et l'administration de l'eau qui leur est accordée, selon des règles fixées par la Confédération. Les règles de partage de la ressource sont décidées par les usagers ; la plupart du temps en fonction des surfaces. En Espagne, on dénombre environ 7200 communautés d'irrigants qui gèrent 70% des surfaces irriguées [37]. Il existe des communautés d'irrigants anciennes constituées sous initiative publique qui ont des dotations en eau plus importantes que les communautés plus récentes.

3.3 Les instruments de gestion quantitatifs

On distingue habituellement la gestion de l'offre c'est-à-dire l'ensemble des instruments permettant l'approvisionnement en eau de la gestion par la demande qui a comme objectif de réguler la consommation en eau.

3.3.1 Les instruments de gestion de l'offre

Dans le bassin du Guadalquivir la gestion de l'offre via l'accroissement des capacités de stockage a été la principale stratégie publique adoptée et se traduit aujourd'hui par la présence d'un système complexe de 65 barrages interconnectés. Ces derniers ont été construits tout au long du 19^{ème} siècle, siècle où la maîtrise de l'eau et l'irrigation sont devenus des enjeux nationaux majeurs portés par les élites espagnoles modernisatrices. En effet, en Espagne, la transformation géographique autour du réseau hydrologique/agricole devait répondre au "malaise social et culturel" et au ralentissement économique [48]. L'accès à l'irrigation, s'est justifié par l'intérêt général au travers de slogans tels que "De l'eau pour tous", qui promettait de soutenir les petits agriculteurs jusque-là marginalisés [20].

Aussi, ces infrastructures sont censées permettre de contrer la variabilité interannuelle et interannuelle des précipitations grâce à leurs capacités de stockage d'un volume maximum d'environ 8 115 hm³. Depuis 25 ans, les barrages sont remplis à 46% de leur capacité maximale en moyenne (3759 hm³). Ces très grands réservoirs sont conçus pour être remplis tous les 5 à 10 ans. Si par exemple un bassin à un apport moyen de 50 hm³, un réservoir de 200 hm³ sera construit ce qui permettra en théorie de lisser la disponibilité en eau en cas de sécheresse par des lâchés d'eau de barrage.

3.3.2 Les instruments de régulation de la demande

La gestion de la demande, notamment pour le secteur agricole, se fait à l'aide d'instruments réglementaires à savoir des droits d'eau appelés concessions accordés par la Confédération hydrographique pour une durée de 75 ans et qui ne sont plus liés à la terre depuis 2005. Ces concessions peuvent être revues à la baisse si les usagers ne la consomment pas entièrement. Il existe deux types de concessions :

- Les concessions historiques qui étaient comprises entre 8 000 m³/ha et 10 000 m³/ha jusqu'à la fin des années 1990 puis sont aujourd'hui entre 4 000 et 6 000 m³/ha. Elles ont été concédées pour la plupart à des communautés d'irrigants situées dans les deltas ou les plaines du Guadalquivir c'est-à-dire dans les terres les plus fertiles et qui ont été les premières historiquement à être irriguées. La CIMGCG par exemple, fut déclarée zone d'intérêt national en 1940 et fit donc partie des premières zonées irriguées. En 1956, la communauté se crée sous initiative publique et regroupe 4979 hectares et a un droit d'eau d'environ 10 000 m³/ha.
- Les concessions individuelles dont la valeur dépend du type de culture déclarée par les agriculteurs. Par exemple, si un agriculteur décide de planter des oliviers son droit d'eau sera moins important que celui d'un agriculteur qui veut faire des cultures maraichères.

Avant la campagne d'irrigation c'est-à-dire d'Avril à Septembre la "commission de desembalse", organe de gestion des confédérations hydrographiques, se réunit afin de délibérer et de faire des propositions au président de la confédération sur le régime approprié de remplissage et de vidange des réservoirs et des aquifères du bassin. Cette commission est constituée de représentants des irrigants (Ferragua), du secteur civil (pour l'eau potable), des industriels et des associations environnementales. En fonction du remplissage des barrages une consommation maximale en eau est décidée pour chaque secteur. Ensuite, selon les droits d'eau délivrés, des autorisations de prélèvements appelées dotations d'eau sont accordées. Ces autorisations varient donc chaque année et ne correspondent pas toujours aux droits d'eau. En cas de sécheresse, le secteur domestique est prioritaire : le secteur industriel et le secteur agricole voient donc leurs droits d'eau réduits de manière proportionnelle. Par exemple, le 28 avril 2021, la commission de desembalse, compte tenu du remplissage des barrages (36% de leur capacité maximale), a annoncé une réduction de 50% du volume total à prélever par rapport aux concessions. Cette réduction n'est pas la même pour tous les agriculteurs : elle est de l'ordre de 50% pour ceux ayant des concessions supérieures à 6 000 m³/ha et de 40% pour ceux ayant des concessions inférieures à 1 500m³/ha [13]. Par exemple, la CIMGCG dont le droit d'eau actuel est de 6 000m³/ha environ a dû plafonner les droits annuels de prélèvements à 3 000 m³/ha.

A ces instruments réglementaires il faut ajouter deux instruments économiques : (i) une taxe visant à récupérer les coûts de gestion mais qui n'est pas incitative ce qui va à l'encontre des recommandations de la DCE et (ii) un marché de l'eau qui se met en place lors des épisodes de sécheresses hydrauliques qui correspond à des échanges d'eau.

- La tarification de l'eau :

C'est un instrument économique qui a pour objectif de couvrir les coûts du capital et les coûts d'exploitation et de maintenance des services publics (stockage, transport, contrôle). La tarification, à la différence d'une taxe, est reliée à la fourniture d'un service spécifique. En Espagne celle-ci porte le nom de "canon de agua" (redevance eau), est fixée par la confédération et ne s'applique que pour les eaux superficielles qui sont fortement régulées. Aussi, l'assiette de la redevance est fonction du nombre d'hectares irrigués et non pas du volume d'eau prélevé (comme c'est le cas pour les usages domestiques). Elle varie selon les années entre 60 et 70€/ha [14]. Les utilisateurs des eaux non régulées se voient appliquer un tarif partiel entre 30 et 40€/ha selon les zones.

Les irrigants qui sont dans une communauté d'irrigants doivent en plus payer d'autres coûts dont les coûts de fonctionnement de la communauté (salaires, infrastructures, maintenance), les coûts liés à des travaux de

modernisation (s'il y en a eu) et les coûts d'énergie. Dans la CICMGG, les agriculteurs payent environ 400€ par hectare à la communauté. Tous les coûts sont facturés à l'hectare sauf celui concernant l'énergie qui est fonction du volume d'eau consommé mais dont le taux est très bas. Depuis la création de la communauté et surtout depuis la modernisation le prix a fortement augmenté : il est passé de 330 €/ha à 412 €/ha afin de contribuer à ces travaux.

- Le marché de l'eau :

En théorie un marché de l'eau est un lieu d'échange de droits mis en place afin de limiter la rigidité de l'offre et qui s'appuie sur la réallocation efficiente de la ressource. Il suppose des valeurs de l'eau marginales entre les agriculteurs différentes. Un marché de l'eau demande aussi des droits d'eau transférables et donc non liés à la terre. En Espagne, le marché de l'eau n'est pas une réelle bourse d'échange organisée puisque aucune infrastructure de marché est développée. Ce sont des échanges d'eau entre irrigants qui sont autorisés, le prix étant non public et décidé par les parties prenantes. Ces échanges peuvent se faire entre irrigants d'une même communauté d'irrigants ou entre communautés d'irrigants après autorisation de la Confédération.

4 Analyses des politiques de l'eau et de la trajectoire agricole dans le bassin du Guadalquivir

4.1 Les politiques de l'eau

Notre objectif est d'analyser dans quelle mesure les politiques de l'eau ont favorisé ou non l'adaptation au changement climatique du secteur agricole. Pour ce faire, nous avons déterminé les étapes ayant mené à la fermeture du bassin puis identifié les événements déclencheurs, des sécheresses pour notre cas, ayant mené à des changements de politiques. Cette étape nous a permis d'émettre des hypothèses sur l'efficacité des politiques publiques que nous avons discutées grâce à notre étude de terrain.

4.1.1 Les étapes menant à la "fermeture" du bassin du Guadalquivir

Depuis le début du 20^{ème} siècle la demande et l'offre en eau n'ont cessé de croître jusqu'à atteindre un point où l'offre ne peut plus augmenter car les ressources en eau sont entièrement allouées. Au contraire, la demande potentielle continue d'augmenter du fait du différentiel toujours croissant de productivité entre les cultures sous régime pluvial et irriguées [8]. Ceci a conduit d'abord à la fermeture hydrologique du bassin c'est-à-dire à l'allocation de la totalité des ressources entre les différents usages puis à la fermeture administrative qui s'est traduit notamment par la stagnation des surfaces irriguées et un moratoire sur les concessions d'eau accordées. Pour comprendre la situation actuelle dans le bassin il est nécessaire de revenir sur l'évolution de la gestion de l'eau qui suit assez bien le cadre théorique proposé par [42]. En reprenant les nombreux articles qui y font référence [1, 8, 18, 31] il est possible de distinguer 4 grandes phases :

- La phase d'exploration de 1910 à 1950 : c'est le début de l'irrigation collective dans le bassin. Le premier plan hydraulique est mis en place sous Franco, il s'agit du Plan national des Ouvrages hydrauliques (1933) et les premières grandes infrastructures hydrauliques sont construites (Guadalmellato en 1911, Cala en 1927, La Breña en 1935, etc.). Les surfaces irriguées n'augmentent pas aussi vite que les capacités de stockage. Aussi, les confédérations hydrographiques sont créées en 1926. Elles étaient destinées, sur la base d'un fleuve principal, à confédérer tous les usages existants dans celui-ci et dans ses affluents, quelles que soient la forme des usages, leur importance et la destination de l'eau utilisée.
- La phase d'expansion de 1950 jusqu'en 2005 : les capacités de stockage continuent à croître : elles passent de 1 277 hm³ à 7 500 hm³ entre 1950 à 2005. Parallèlement les surfaces irriguées augmentent significativement de 114 220 ha en 1950 à 829 943 ha en 2005 sous initiative publique puis privée. En effet à la fin des années 1940 des zones situées principalement sur les deltas et les plaines du Guadalquivir sont déclarées zones d'intérêt général ou régional par les autorités : de grands travaux d'aménagement sont réalisés afin de créer de grandes zones irriguées. On distingue trois sous étapes durant cette phase[1] :
 - De 1950 jusqu'en 1963, l'Etat investit massivement dans la construction de nouveaux ouvrages et appuie le développement de l'irrigation dans les zones les plus fertiles.
 - De 1963 jusqu'en 1989, la disponibilité en eau continue d'augmenter sans que les superficies irriguées augmentent.
 - De 1989 à 2005, les superficies irriguées et les demandes en eau augmentent exponentiellement et la culture d'olivier devient prédominante. La totalité des ressources superficielles étant allouées, beaucoup d'agriculteurs se tournent vers les ressources souterraines qui sont connectées aux eaux de surfaces hydrologiquement.

- La phase de saturation de 2005 à 2012 : la demande en eau excède l’offre en eau du bassin et les effets sur les écosystèmes se font sentir.
 - Afin de respecter la directive cadre européenne sur l’eau (DCE) de 2000 et sa transposition en droit national en 2001 et notamment les débits minimums environnementaux, presque aucune concession est accordée (moratoire en 2005) et les dotations d’eau sont revues à la baisse : en 1987 en moyenne les agriculteurs avaient 9 800 m³ par hectare alors qu’en 2021 ils en ont 3 400m³ par hectare [13].
 - La majorité de l’effort est concentrée sur la modernisation des réseaux et des systèmes d’irrigation fortement soutenue par les fonds européens. Les canaux à ciel ouvert permettant une irrigation gravitaire sont rapidement abandonnés au profit de tuyaux et de canalisations généralement enterrés permettant une irrigation sous-pression (aspersion ou goutte-à-goutte). Un plan national de modernisation (Plan de Choque) et des plans régionaux vont être mis en œuvre comme le Plan andalou d’irrigation en 1996 qui va permettre de moderniser 356 118 hectares. Dans cette dernière étape les surfaces irriguées et la capacité de stockage ont très peu augmenté. En effet actuellement 890 000 hectares sont irrigués et les 65 grands réservoirs ont une capacité de stockage de 8 115 hm³.
- La fermeture de bassin depuis 2012 : le bassin n’a pas augmenté ses capacités de stockage ou ses surfaces irriguées. La demande d’eau est devenue très rigide c’est-à-dire que les agriculteurs ont une faible réactivité à la tarification. [17]. La productivité de l’eau est très importante du fait d’une eau d’irrigation qui est valorisée à 1,60€/m³ par des cultures à forte valeur ajoutée comme les oliviers. La productivité (€/m³) étant calculée en divisant la marge brute par hectare(€/m³) par la demande moyenne en eau de la culture (m³/ha).

4.1.2 Identification des évènements déclencheurs

Ces évènements déclencheurs sont bien souvent des crises qui ont débouché sur les grandes réformes de la politique de l’eau [26, 43]. Les sécheresses créent des graves entraves à la production agricole et révèlent aussi des problèmes qui peuvent ne pas être visibles par les décideurs publics. De la même manière, certains changements de politique ont été adoptés à la suite d’une pression publique croissante, par exemple lorsque l’épuisement des nappes phréatiques devient une contrainte pour les utilisateurs ou lorsque la pollution devient visible et problématique [26, 43].

Dans leur article Berbel & al (2019) [5] montrent que les grands changements dans la gestion de l’eau dans le bassin du Guadalquivir ont eu lieu après de longs épisodes de sécheresse. Une sécheresse hydraulique désigne une disponibilité anormalement faible de l’eau et plus précisément un ”phénomène passager, ou conjoncturel, qui est déclenché par une sécheresse physique mais qui est souvent renforcé par un déséquilibre entre offre et demande en eau”[16]. Dans le cas du Guadalquivir, celles-ci correspondent à des épisodes où les volumes stockés sont anormalement bas ce qui affecte directement les cultures irriguées dans la mesure où elles dépendent directement des débits d’eaux et des volumes stockés.

Lors des épisodes de grande sécheresse les instruments de gestion de l’eau basés sur l’offre sont mis à mal puisque la disponibilité en eau est insuffisante pour répondre à la totalité de la demande. Depuis les années 1960 il y a eu 4 épisodes de sécheresse hydraulique : entre 1978 et 1984, entre 1990 et 1995 (”la Méga-sécheresse”), entre 2005 et 2008 et la dernière qui a commencé en 2021. Les évaluations des impacts ne sont connues que pour 2 d’entre elles. Nous analyserons donc plus en détail celles-ci.

4.1.3 La sécheresse de 1990-1995

C’est la plus grande et grave sécheresse connue en Espagne jusqu’à aujourd’hui. Durant cette dernière, dans le Guadalquivir, il y a eu une réduction de plus de 70% des volumes d’eau disponibles tous usages confondus par rapport à la moyenne interannuelle depuis 1940 [39]. Des restrictions de consommation d’eau ont atteint les 30% dans certaines villes comme Séville, Malaga et des coupures d’eau de plusieurs heures (parfois 10 heures) ont été mises en place. Au total 12 millions d’espagnols ont souffert de restrictions. Dans le bassin du Guadalquivir moins de la moitié des concessions ont été accordées (et même aucune en 1995) du fait du faible taux de remplissage des barrages. En effet, les concessions moyennes étaient de l’ordre de 6 487 m³/ha alors que les apports d’eau réellement accordés s’élevaient à 2 973 m³/an. Une évaluation détaillée des dommages causés par cette sécheresse n’est pas facile mais il est estimé que son impact s’est élevé à environ 10% de la valeur de la production espagnole c’est-à-dire 1 500 millions d’euros [39] qui depuis les années 1990 ne dépasse pas 5% du PIB national [34]. Jusqu’à maintenant aucune analyse des effets écologiques n’a été menée.

4.1.4 La sécheresse de 2005-2008

Durant la sécheresse de 2005-2008 les dotations en eau ont été revues à la baisse à partir de 2006 et elles ont été en moyenne entre 2 000 et 2500 m³/ha. Les pertes économiques sont évaluées à 1512 millions d’euros pour le secteur agricole en Andalousie, les principales pertes ayant été supportées par les cultures pluviales et non les cultures irriguées [4]. Par exemple pour les olives de almazara (cultivées pour faire de l’huile d’olive) la perte de production (effet

quantité négatif) était plus faible pour les cultures irriguées (- 37, 2 millions d’euros) que pour les cultures pluviales (- 978 millions d’euros). Néanmoins, dans les deux cas, ces pertes ont été compensées par des hausses des prix (effet prix positif) possibles notamment grâce à une demande inélastique [4]. Les pertes de production ont aussi pu être atténuées grâce à la mobilisation des ressources souterraines et non conventionnelles (construction de puits, réutilisations d’eaux usées, etc).

4.2 Un nouvel objectif de la politique de l’eau : la préservation de l’environnement

Les sécheresses hydrauliques et notamment celle de 1991 à 1995 a contribué au changement de paradigme des politiques de l’eau.

Les enjeux économiques, politiques, sociaux et environnementaux ont beaucoup changé depuis le début du 20^{ème} siècle. Globalement, jusqu’au plan hydrologique de 1998 la politique de l’eau a surtout consisté en une augmentation de l’offre en eau afin de combler le déficit structurel en Andalousie [46]. Ceci s’est traduit par des politiques de développement économique de construction et d’exploitation d’infrastructures hydrauliques. Néanmoins les épisodes de sécheresses vont mettre en évidence les limites du système de gestion et sa non-durabilité [46].

La sécheresse de 1991-1995 a montré les failles d’une politique tournée principalement vers l’offre sans considération pour la sécurisation ; elle a fortement participé au changement de paradigme sur les politiques de l’eau qui s’est opéré entre la fin des années 1990 et le début des années 2000. L’introduction de la Directive Cadre sur l’Eau en 2000 retranscrite dans le droit espagnol en 2001 en est l’illustration la plus évidente. Celle-ci harmonise la gestion de l’eau en Europe en préconisant une gestion par bassin et surtout le retour à l’équilibre quantitatif et qualitatif des cours d’eau. La DCE oblige les politiques de l’eau à changer d’approche en intégrant dans leurs objectifs l’écologie des milieux aquatiques : d’une politique de développement économique, la priorité est donnée à la préservation de l’environnement et des écosystèmes [42].

Ainsi, à partir des années 2000, l’enjeu des politiques de l’eau n’est plus le même : il s’agit de réguler la demande et de trouver des règles justes d’allocation de la ressource entre les usagers tout en réservant des débits pour l’environnement. Concrètement, des débits minimums environnementaux ont été établis et afin de les atteindre l’Etat espagnol a surtout misé sur des technologies économes en eau et la modernisation des périmètres irrigués.

4.3 Des instruments d’offre à la régulation de la demande

Les sécheresses ont aussi impacté le choix des politiques et des instruments de gestion de l’eau.

4.3.1 La ”Méga-sécheresse” de 1991-1995

A la suite de cette sécheresse plusieurs mesures vont être mises en place :

- La moyenne de la valeur des droits d’eau va progressivement être revue à la baisse et par conséquent les dotations d’eau.

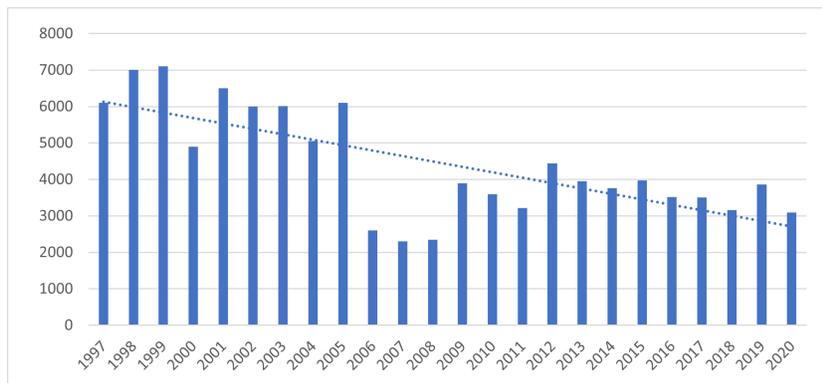


Figure 3: Evolution des dotations moyennes en eau (m3/ha) des principales communautés d’irrigants, Source : [11]

- L’incorporation d’un plan de gestion sécheresse dans le Plan Hydrologique National de 2001 et dans le Plan Hydrologique du Guadalquivir de 1998.

- En 1996 la région andalouse met en œuvre le Plan andalou d'irrigation afin de moderniser les installations d'irrigation et d'économiser de l'eau. Au total 356 118 hectares ont été modernisées. A cette stratégie régionale vient s'ajouter un certain nombre de plans nationaux et notamment le "Plan de Choque en 2006" qui avait pour but de "stimuler l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour le secteur agricole" grâce à un investissement public de plus de 2 000 millions d'euros qui a finalement permis entre autres le développement de nouvelles surfaces irriguées. Cela a donc produit un effet rebond (c'est le paradoxe de Jevons)⁵.

4.3.2 La sécheresse de 2005-2008

Dès le début de cette sécheresse des marchés de l'eau sont (re)autorisés pour soutenir les cultures à haute valeur ajoutée alors qu'ils avaient été interdits en 1985. Les échanges ont cependant concerné seulement 5% de l'utilisation totale de l'eau pendant la sécheresse [44]. A cette mesure s'ajoute la création de banques d'eau/ centres d'échanges qui ont très peu servi aussi. Ces dernières achètent des droits d'eau aux irrigants et les transfèrent de manière définitive à l'environnement ("Buy back" en anglais). Les prix varient entre 3 000€ par hectare d'irrigation converti en culture sèche à un maximum de 6000€/ha et 10 000€/ha en fonction de la présence de culture permanentes ou temporaires. Par ailleurs, en 2005 la Confédération hydrographique du Guadalquivir décide de ne plus accorder de droits d'eau. Enfin, de nombreuses aides locales, régionales et nationales sont mises en place pour le passage au goutte-à-goutte pour les irrigants. Ces aides variant de 40% à 60% du coût total.

4.4 Les politiques de l'eau à l'échelle de la CIMGCG

4.4.1 La baisse des dotations en eau

Pour la CIMGCG, dès la sécheresse de 1978 à 1984, la consommation en eau diminue fortement. Après cette dernière la consommation avoisine 7 000 m³/ha jusqu'à la nouvelle sécheresse de 1991-1995, la plus grave crise jusque-là enregistrée pour la communauté. En 1995, on remarque que la consommation relevée par la communauté était nulle mais en réalité elle ne l'était pas. En effet, pendant cette sécheresse de nombreux puits ont été construits illégalement et ont permis de sauver quelques cultures. Aujourd'hui 50% des puits ont été légalisés et les autres condamnés (même si dans les faits ils sont utilisés durant les périodes de sécheresse).

Après 1998, la consommation en eau n'a plus dépassé les 6 000 m³/ha ; pour cause la baisse des droits d'eau de la communauté qui sont passés à 6 000 m³/ha. Entre 2005 et 2008 les effets de la sécheresse hydraulique se font sentir sur la communauté : les dotations sont très basses mais là aussi les agriculteurs ouvrent ou réouvrent leur puits pour palier le manque d'eau.

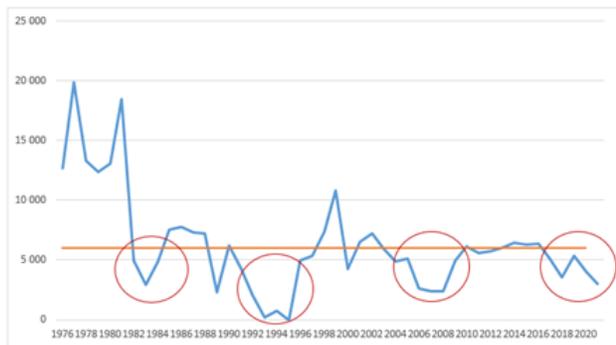


Figure 4: Evolution de la consommation moyenne par hectare en eau de la CIMGCG, Source : élaboration propre d'après les données de la CIMGCG

4.4.2 Les politiques de modernisation

Pour la CIMGCG, comme la majorité des zones irriguées dites traditionnelles (ayant plus de 25 ans en 2000), les premiers plans concernant la modernisation datent du début du siècle. Il s'agissait de passer d'un système d'irrigation par canaux gravitaires à un réseau de distribution par conduits sous pression. Ceci a nécessité de longs (de 2005 à 2010) et coûteux travaux (77 millions d'euros) cofinancés par la Confédération et la communauté. Lors de ces travaux il a été décidé que l'eau utilisée pour répondre aux besoins de la zone d'irrigation proviendrait non plus du Genil

⁵Le paradoxe de Jevons mis en avant pour le domaine énergétique dans *The Coal Question*(1865) établit qu'à la suite d'un progrès de la technique, la consommation énergétique ne diminue pas comme espéré, mais est soumise à un effet rebond marqué par une augmentation de la consommation énergétique

(principal affluent du Guadalquivir) mais du Guadalquivir directement. Ainsi actuellement, deux stations de pompage situées dans le canal inférieur du Guadalquivir permettent d'élever de l'eau vers deux retenues d'une capacité totale de 1,5 Hm³. Une fois filtrée, l'eau passe par un réseau de 47 km de tuyaux qui l'achemine vers 177 points d'usage où se trouvent les vannes d'irrigation des parcelles commandées par un système de télécommande. Des tuyaux sortent de ces points d'usages et conduisent l'eau vers chacune des parcelles des membres de la communauté.

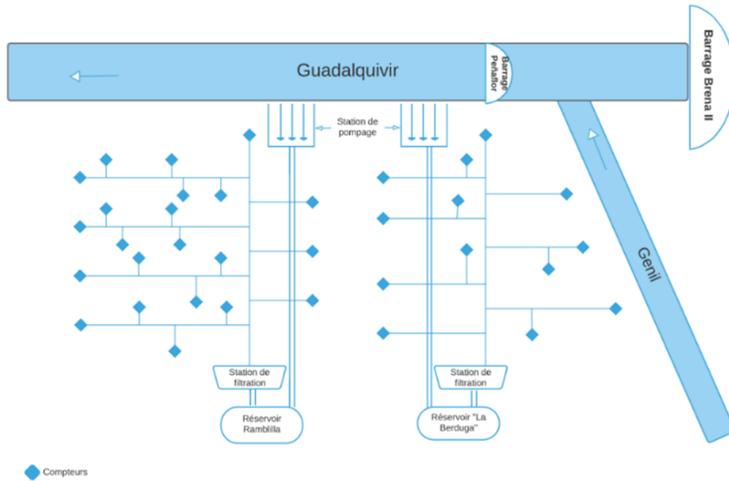


Figure 5: Schéma du fonctionnement actuel du système d'irrigation de la CIMGCG, Source : élaboration propre

La modernisation a permis de contrôler précisément la consommation de chaque irrigant. Ces derniers peuvent effectivement suivre en temps réel leur consommation, si celle-ci dépasse la dotation accordée, les vannes sont simplement coupées. Après la modernisation de la communauté, en 2013, près de 500 hectares ont été intégrés à la communauté puis à nouveau en 2019, 600 hectares. Si dans le premier cas il s'agit de l'incorporation d'une petite communauté d'irrigants au sein de la CIMGCG, dans le deuxième cas il s'agit simplement de l'extension de zones auparavant sous régime dit "extraordinaire" c'est-à-dire bénéficiant de l'irrigation que dans les années humides. Cet exemple illustre ainsi l'effet Jevons évoqué auparavant.

5 La trajectoire agricole : vers des cultures pérennes à haute valeur ajoutée

La trajectoire agricole est le produit de différents facteurs de changement : de signaux de marché, de déterminants sociaux, culturels mais aussi de la gestion de l'eau. En effet, dans une région où l'eau est un input essentiel pour la production agricole il est raisonnable de penser que les changements de politiques de l'eau et notamment depuis la fin des années 1990 et le début des années 2000 ont influencé le système agricole. Dans cette partie est étudié la trajectoire agricole dans le bassin et dans la CIMGCG.

5.1 A l'échelle du bassin

5.1.1 Le développement de cultures pérennes...

La distribution des cultures en Andalousie a fortement changé depuis 1992. De manière générale l'arboriculture (cultures ligneuses pérennes) a progressivement remplacé les grandes cultures ⁶ et les cultures industrielles ⁷. Ce changement va de pair avec la généralisation de l'irrigation de cultures traditionnellement sous régime pluvial comme l'oléiculture permis en partie par la modernisation. En effet, les systèmes d'irrigation sous pression (aspersion et goutte-à-goutte) permettent de contrôler précisément les apports d'eau et de valoriser mieux l'eau (les apports d'eau sont diminués pour une même production). Selon le ministère espagnol de l'agriculture, la rentabilité moyenne de la production d'olives en Andalousie est de 3454 kg par hectare pour les olives sous régime pluvial et 5589 kg/ha pour les olives irriguées en 2020.

⁶Les céréales (blé, orge, maïs...), les oléagineux (colza...) et les protéagineux (pois, féveroles...).

⁷Cultures dont les produits ne permettent pas une consommation directe ou pour lesquels la transformation est beaucoup plus rentable : betterave à sucre, coton, soja, tournesol, etc.

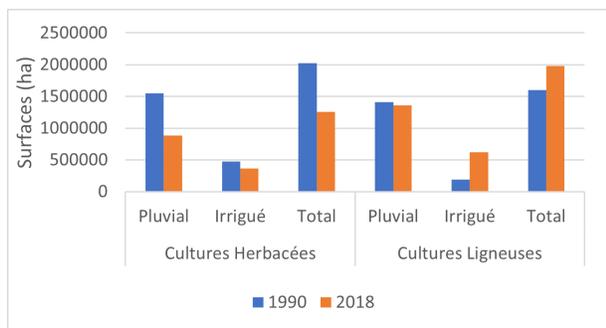


Figure 6: Evolution des cultures herbacées et ligneuses en Andalousie de 1991 à 2018. Source : élaboration propre à partir des statistiques agraires de la Junte d'Andalousie (1992 et 2018).

L'évolution la plus notable dans l'agriculture andalouse concerne l'augmentation de la superficie allouée aux oliviers qui passe de 35% à 49% des cultures. De manière générale les cultures ligneuses pérennes ont progressivement remplacé les grandes cultures céréalières.

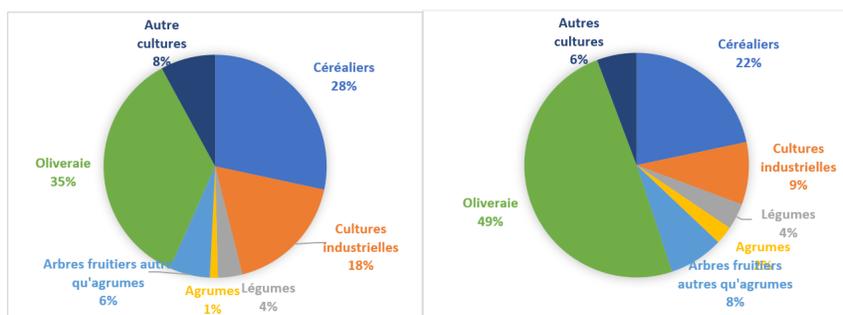


Figure 7: Distribution des cultures en Andalousie en 1992 (à gauche) et en 2018 (à droite). Source : élaboration propre à partir des statistiques agraires de la Junte d'Andalousie (1992 et 2018)

5.1.2 ...A haute valeur ajoutée...

L'abandon des cultures annuelles au profit des cultures pérennes s'analyse aussi par une orientation générale de l'agriculture andalouse vers des cultures à haute valeur ajoutée comme les olives ou les agrumes. Il est estimé par exemple que la marge brute par hectare des olives est d'environ 4 000 € contre 1 260€ pour le coton et 1 875€ pour la betterave à sucre. De même celle des agrumes s'élève à 8 400 € (voir Table 3.1). Même si ce n'est pas la culture dominante dans le bassin, la culture d'agrumes est passée de 14 389 hectares à 47 112 de 1992 à 2020 dans les principales provinces du Guadalquivir (Cordoue, Séville, Jaén et Granada) du fait principalement de la hausse de la demande mondiale pour les fruits. La culture intensive des agrumes n'a été possible que grâce à l'installation de systèmes d'irrigation très performants comme le goutte-à-goutte qui a permis d'optimiser au mieux la ressource pour une culture assez demandeuse en eau (entre 4500 et 5000 m³/ha) dans un bassin fortement impacté par le manque d'eau. C'est là quelque chose d'étonnant, au tournant des années 2000, dans un des moments les plus critiques pour le bassin du Guadalquivir, certains agriculteurs se sont orientés vers des cultures pérennes à haute valeur ajoutée... ayant de besoins en eau importants et ce grâce à la modernisation des systèmes d'irrigation qui avaient pour objectif d'économiser de l'eau.

Néanmoins, c'est surtout la culture d'olive qui est aujourd'hui majoritaire dans le bassin et sa demande en eau est assez faible, de l'ordre de 2370 m³/ha. L'évolution des assolements vers cette culture moins demandeuse en eau révèle la prise en compte de la rareté de la ressource par le secteur agricole.

5.1.3 ...Contribuant à l'augmentation de la productivité de l'eau

De manière générale il s'est produit depuis 1992 une augmentation de la productivité de l'eau du fait du changement de culture.

Il suffit pour cela de regarder la productivité de l'eau pour les cultures annuelles comme le coton ou le tournesol qui

est comprise entre 0,18€/m³ et 0,39€/m³ alors que celle des oliviers est de 1,62€/m³. Le déficit d'irrigation est un des facteurs ayant contribué à l'augmentation de la valeur de l'eau dans le bassin du Guadalquivir : elle était de 0,12€/m³ en 1992 puis à 0,60€/m³ en 2012. Dans leur article, Arguelles & al (2012) [1] soulignent l'importance de l'irrigation déficitaire dans le bassin du Guadalquivir, en faisant valoir qu'une majorité des cultures sont irriguées avec moins d'eau que nécessaire selon des estimations basées sur la méthode de Penman. Les oliveraies irriguées, par exemple, reçoivent en moyenne 1,500 m³ /ha, ce qui représente 63% de l'estimation agronomique théorique du volume requis. Ils estiment que l'irrigation déficitaire est appliquée sur 67% de la surface totale irriguée. Ce déficit est, d'un point de vue agronomique, sous-optimal dans la mesure où la production maximale n'est pas atteinte, néanmoins d'un point de vu économique l'optimum peut être différent ; si la valeur marginale de l'eau devient inférieure au coût marginal de l'eau alors l'irrigant a intérêt à irriguer moins que l'optimum agronomique.

Cultures	Demande en eau moyenne (m ³ /ha)	Marge brute par hectare (€/ha)	Productivité de l'eau (€/m ³)
Céréales d'hiver	2110	860	0,41
Maïs	5 020	2 330	0,47
Riz	12 430	1 810	0,15
Tournesol	3 700	665	0,18
Betterave à sucre	4 900	1 855	0,39
Coton	5 660	1 260	0,22
Amandier et fruits secs (cultures traditionnelles)	2 280	5 890	2,56
Agrumes	4 980	8 400	1,69
Olivier (culture traditionnelle)	2 380	3 850	1,62

Table 2: Demande en eau, marge brute et productivité de l'eau en fonction des cultures, Sources : Elaboration propre à partir de Inventario de regadíos 2008 y su evolución en la última década (2008), MAPAMA (2017), les prix sont ceux de 2020 (Observatorio de precios de Andalucía).

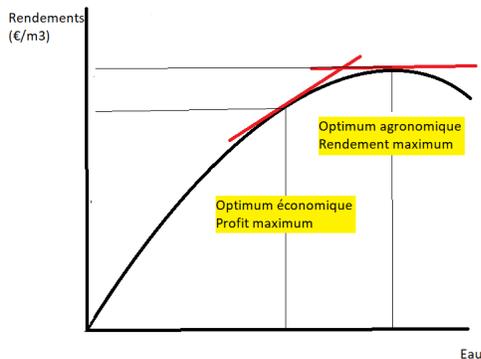


Figure 8: Fonction de rendement théorique d'une culture.

5.2 A l'échelle de la communauté

La distribution des cultures a aussi beaucoup changé ces dernières années dans la communauté. En effet avant 2016 (voir Figure 3.7) les cultures majoritaires étaient les céréales (maïs) et les cultures industrielles (coton, tournesol et betterave à sucre). A partir de 2016 la distribution change graduellement et ce sont les arbres fruitiers et notamment les agrumes qui deviennent dominants. En 2021, 70% des cultures sont des cultures pérennes. Les modifications de cultures n'ont pas joué significativement sur la demande en eau (le maïs par exemple demande davantage d'eau que les agrumes).

A partir des données de la communauté sur les surfaces cultivées, les rendements, les coûts et les prix des cultures de 2014 et de 2020, nous avons calculé l'évolution de la marge brute entre 2014 et 2020 de la communauté d'irrigants (voir annexes). On remarque que la marge brute par hectare est passée de 1 220 € à 1 960 € soit une hausse de plus de

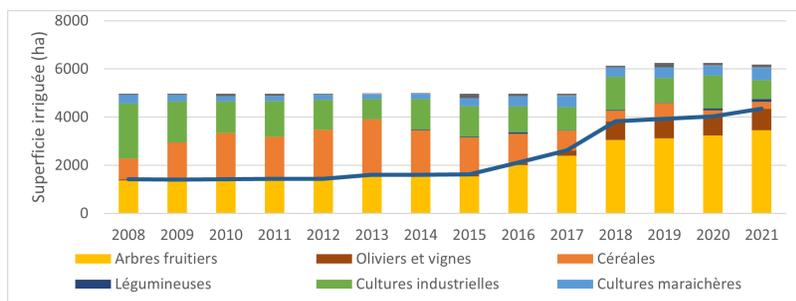


Figure 9: Evolution de la distribution des cultures dans la communauté, Source : élaboration propre à partir des données de la CIMHCG.

60% de la valeur ; ce qui démontre bien la trajectoire actuelle de la communauté similaire à celle du bassin vers des cultures pérennes à haute valeur ajoutée.

Cultures	Surface irriguée (Ha)	Rendement (T/Ha)	Prix (€/Kg)	Coûts de production (€/Ha)	Production agricole (€/Ha)	Total (€)
Blé	174	4,300	0,2	700	860	149 889
Maïs	54	12,500	0,19	1 800	2 337,50	126 482
Cotton	1 085	3,000	0,42	1 700	1 260	1 367 453
Tournesol	258	1,900	0,35	600	665	172 075
Oignons	205	50,000	0,22	6 000	11 050	411 988
Agrumes	1 904	40,000	0,21	4 500	8 400	16 001 328
Oliviers	801	7,000	0,55	2 300	3 850	3 083 850
Amandiers	923	1,900	3,1	4 000	5 890	5 436 470

Table 3: Rendements et marges brutes estimées des principales cultures de la CIMGCG en 2020, Sources : Elaboration propre à partir des données de la CIMGCG

Plusieurs raisons ont été avancées par les agriculteurs de la communauté pour expliquer le changement de culture. Nous les présentons par ordre d'importance :

- Des raisons économiques : la culture d'agrumes est très rentable. En effet, les agrumes sont des cultures à haute valeur ajoutée du fait de leur prix assez élevé et de la demande croissante pour les fruits dans le monde.
- Des raisons techniques : le changement de type d'irrigation permet de cultiver des vergers. La modernisation du système de distribution d'eau de la communauté d'irrigants a permis le développement du goutte-à-goutte, qui est la technique d'irrigation la plus économe en eau (90% d'efficacité). Ainsi, souvent incités par les aides de la région ou de leur coopératives (entre 50% et 60%), les agriculteurs ont investi dans le goutte-à-goutte. Ce système très coûteux permet d'appliquer l'eau de manière économe au bon endroit et en petite quantité pour s'assurer d'une efficacité maximale, contrôler la qualité de l'eau et surtout de planter des arbres dans des terrains à la topographie très inégale.
- Des raisons pratiques : Les vergers ne demandent pas tant d'effort que les cultures maraichères ou industrielles. Ce sont des cultures plus commodes c'est-à-dire qui demandent moins de main d'œuvre et qui sont facilement mécanisables.
- Autres : Le changement dans les règles d'attribution des aides de la PAC surtout pour le coton. Concrètement la réforme du régime d'aide au coton en 2006 de l'UE a découpé de 65 % les aides et a entraîné une diminution des cultures de coton dans toute la communauté autonome andalouse. Même si l'Espagne a réussi à augmenter le montant de l'aide à l'hectare après quelques mois de négociations, les surfaces cultivées ne sont pas revenues à leur niveau d'avant 2006.

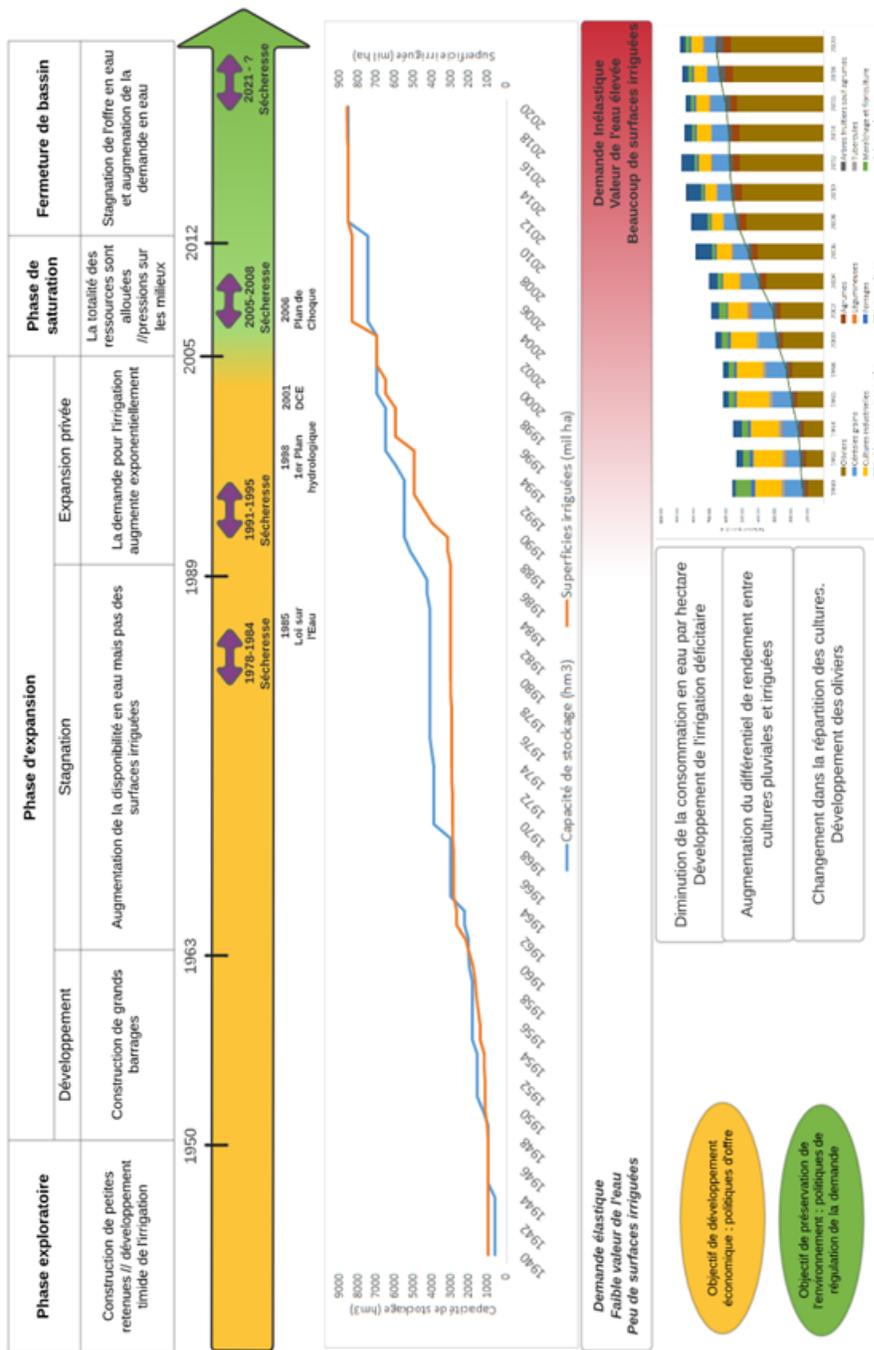


Figure 10: Schéma récapitulatif de la trajectoire de la gestion de l'eau et du secteur agricole dans le bassin du Guadalquivir

6 Résultats

L'analyse précédente nous a permis de mettre en avant que (i) les politiques de l'eau dans le bassin du Guadalquivir ont été mises en place après des épisodes de sécheresses et que celles-ci sont aujourd'hui majoritairement axées sur la régulation de la demande et qu' (ii) il y a eu en parallèle un changement dans la répartition des cultures qui s'est opérée en faveur des cultures ligneuses (vergers) à haute valeur ajoutée. Ceci nous permet de proposer deux hypothèses.

6.1 Les politiques économiques n'ont pas favorisé l'adaptation du secteur agricole au changement climatique

Les politiques de régulation de la demande visant à résorber les déficits quantitatifs (modernisation des systèmes d'irrigation et baisse des dotations en eau) ont participé à des changements de pratiques culturales (choix de cultures et techniques d'irrigation) caractéristiques d'une rigidification de la demande. Ainsi, il apparaît que les instruments et les outils économiques n'aient pas favorisé l'adaptation au changement climatique du secteur agricole et ce pour deux raisons :

6.1.1 Une gestion peu robuste et peu incitative

Le manque de garantie de l'eau:

Une gestion robuste est une gestion qui permettrait de faire face à des événements extrêmes comme des sécheresses dans notre cas. Or, les politiques de modernisation menées après la sécheresse entre 1995-1998 qui avaient pour objectif de diminuer les volumes d'eau consommés, ont entraîné in fine (i) une augmentation des surfaces irriguées et (ii) une demande agricole plus inélastique.

Le Programme national d'irrigation ("Plan de choc") (MARM, 2006) a permis de moderniser les anciennes infrastructures de distribution à canaux ouverts en réseaux de canalisations sous pression. En parallèle, des aides et des subventions pour encourager les exploitants à l'utilisation des systèmes économes en eau (aspersion et goutte à goutte) ont aussi été mises en place. L'utilisation d'eau par hectare a diminué de 38% entre 1992 et 2008 [8]. Néanmoins cette modernisation s'est aussi traduite par l'augmentation des surfaces irriguées : Gutiérrez-Martín & Gómez (2011) [27] considèrent qu'il n'y a même pas eu d'économies d'eau à cause de la diminution des flux de retour et aussi à cause de l'augmentation de l'évapotranspiration des plantes. Dans leur article Molle & al (2010) [41] mettaient déjà en cause la pertinence des politiques de modernisation. En effet, en étanchéifiant les canalisations d'irrigation le but est de diminuer les pertes d'eau. Cependant, ces pertes sont en réalité des ressources pour l'aval et permettent aussi de recharger les nappes phréatiques. Ainsi, deux effets pervers de la modernisation sont relevés :

- L'effet rebond c'est-à-dire l'augmentation des surfaces irriguées grâce aux économies d'eaux réalisées [6, 7]. Si on pourrait rétorquer que l'augmentation des surfaces irriguées a permis de sécuriser des récoltes sous régime pluvial qui sont, rappelons-le, les plus vulnérables aux sécheresses, ceci s'est fait en contrepartie d'une baisse de la garantie des volumes d'eau. En effet, il y eu un accroissement de l'efficacité de l'eau mesurée en euros par mètre cubes mais pas des économies d'eau qui auraient permis de contrer, au moins partiellement, les effets des sécheresses.
- La fin des externalités positives liées à l'eau non consommée par les plantes qui ruisselait et s'infiltrait dans le sol (zones humides, réalimentation des eaux souterraines, apports d'eau pour l'aval).

Des politiques peu incitatives :

Aucun instrument ne vise à inciter les agents à adopter un comportement plus économe d'un point de vue environnemental. En effet, les redevances sont en fonction des hectares irrigués et non en fonction des volumes consommés. Ainsi, les agriculteurs ne sont pas incités à diminuer leur consommation d'eau en s'orientant par exemple vers des cultures moins demandeuses en eau ou déjà à optimiser leurs stratégie de pilotage de l'irrigation.

Aussi, même si ce n'est appliqué qu'exceptionnellement la Confédération peut à tout moment réviser les droits d'eau des usagers de manière définitive si celle-ci remarque que la totalité des dotations n'est pas consommée ; et ceci sans compensation. Cette mesure pèse sur les agriculteurs (surtout ceux qui ne sont pas dans une communauté) et peut aussi expliquer pourquoi les échanges de dotation en eau sont si peu nombreux. En effet, certains agriculteurs craignent que les autorités de bassin croient qu'ils bénéficient d'une surallocation s'ils effectuent des échanges et donc redoutent que leurs dotations soient abaissées [44].

6.1.2 Ayant contribué à la vulnérabilité du secteur agricole

D'après l'observation de l'évolution de la répartition des cultures depuis 1992 : il semblerait que la demande en eau de la part du secteur agricole est de plus en plus inélastique, c'est-à-dire que les apports d'eau sont devenus si essentiels pour la production que les agriculteurs sont prêts à payer davantage pour un même volume d'eau [9]. Cette rigidification de la demande est due (i) à la nature même des cultures pérennes qui ne permettent pas de jouer sur la marge extensive de l'eau c'est-à-dire de passer d'une culture irriguée à une culture en sec [25] (ii) à l'augmentation de la valeur de l'eau du fait du développement des cultures à haute valeur ajoutée qui illustre le rôle indispensable de cet input dans la production et (iii) à la baisse des dotations moyennes en eau qui ont diminué la marge de manœuvre des agriculteurs.

L'eau est ainsi devenue un input indispensable et peu substituable. La campagne d'irrigation annoncée en mai 2021 l'illustre parfaitement. Les irrigants du bassin du Guadalquivir ont vu leurs concessions d'eau baisser globalement de 50% à cause du taux de remplissage des barrages et des retenues anormalement basses. Si on regarde de plus près (voir Figure 4.1), on remarque que le coefficient de diminution n'est pas le même en fonction des concessions accordées : il est de 50% pour les droits d'eau de plus de 6 000 m³/ha et de 35% pour ceux de moins de 1600 m³/ha,

soit principalement pour les cultures d'olives. La Figure 4.1 montre bien la prise en compte de la rigidification de la demande à mesure qu'on diminue les concessions.

CONCESIÓN (m ³ /ha)	REDUCCIÓN	DOTACION AUTORIZADA (m ³ /ha)
6.000	50,00%	3.000
5.500	48,00%	2.860
5.000	46,00%	2.700
4.500	45,00%	2.475
4.000	44,00%	2.240
3.500	43,00%	1.995
3.000	42,00%	1.740
2.500	41,00%	1.475
2.000	39,00%	1.220
1.700	37,00%	1.068
1.600	35,00%	1.040
1.500 o menos	33,33%	1.000 o menos

Figure 11: Règles de réduction des concessions d'eau en fonction de leur valeur pour l'année 2021, Source : Comisión de desembalse (CHG 2021)

A première vue, le passage à des cultures pérennes et l'abandon de cultures annuelles induit une faible adaptabilité annuelle de l'offre agricole aux prix, au marché et aussi aux événements climatiques. La trajectoire actuelle du secteur agricole semble peu flexible car en cas de sécheresse les agriculteurs ne peuvent pas s'adapter rapidement en changeant de culture à moins de perdre des investissements qui s'amortissent généralement au bout de 4 voire 6 ans. Même si l'olivier par exemple est une culture moins demandeuse en eau que les cultures annuelles industrielles, elle a besoin d'eau tous les ans. En cas de sécheresse hydraulique ce sont des cultures qui sont très vulnérables. Au niveau de l'exploitation, le passage à des cultures pérennes pourrait s'expliquer par une aversion au risque peu élevée et/ou une rationalité limitée (non prise en compte des effets du changement climatique). La vulnérabilité est d'autant plus exacerbée dans la mesure où les dotations d'eau accordées ne cessent de baisser. En effet, la baisse des dotations en eau s'est faite en parallèle d'une diminution de la consommation brute par hectare effectuée grâce à la politique de modernisation (passage sous pression et installation de goutte-à-goutte).

Il semblerait donc que depuis 1992 la politique de l'eau a consisté à diminuer des volumes mais aussi à diminuer la garantie de l'eau alors même que c'est ce qui est demandé par les agriculteurs. En d'autres termes, les concessions d'eau ont baissé au profit d'une diminution de la marge d'adaptation et de flexibilité de la part des agriculteurs.

6.2 Le secteur agricole possède des outils d'adaptation

6.2.1 Une vulnérabilité à nuancer : l'exemple de la CIMGCG

Notre hypothèse sur la perte d'adaptabilité de la part des agriculteurs causée par le passage à des cultures pérennes et l'abandon des cultures annuelles semble d'après notre étude sur le terrain à nuancer. Deux temporalités sont ici à différencier : le court terme c'est-à-dire l'adaptation des agriculteurs à une sécheresse occasionnelle et le long terme qui renvoi dans notre étude à la prise en compte des effets du changement climatique sur les décisions entrepreneuriales des exploitants. En effet, plusieurs mesures d'adaptation difficiles à percevoir avec les données à l'échelle du bassin sont mises en place par les agriculteurs :

Privilégier la diversité :

Les cultures de vergers tendent certes à se développer néanmoins la diversité des cultures (oranges, mandarines, citrons, etc) et de variétés permet aux exploitants de s'adapter à la sécheresse. En effet, tous les agriculteurs interrogés ayant planté des agrumes ont opté pour une diversification des variétés aux besoins en eau différents. Par exemple, les oranges navel (navelina, Washington, lane late) ont leur période de floraison plus tôt que les salustianes et donc des besoins en eau plus importants au printemps, ce qui permet aux agriculteurs de privilégier pendant l'été l'irrigation des salustianes.

De même, les exploitants interrogés ont pour la majorité réorienté leurs cultures progressivement. Par exemple un agriculteur a d'abord planté 10 hectares d'agrumes en 2012 puis 4 ans après, encore 10 hectares et cette année il s'apprête à planter encore 20 hectares (auparavant il avait des cultures annuelles). Dans son cas cette orientation s'est faite progressivement pour des raisons financières, néanmoins pour la sécheresse actuelle ceci lui permet de distribuer

l'eau vers les arbres les plus productifs c'est-à-dire les plus vieux. En effet, il est important de noter que le retour sur investissement se fait après 4/5 ans pour les agrumes, la production étant importante à partir seulement de la sixième année jusqu'à 25 ans, après le plus rentable est d'arracher les arbres et d'en planter de nouveaux.

L'optimisation de l'usage de la ressource en eau :

La plupart des agriculteurs réagissent à la sécheresse en optimisant l'usage de la ressource grâce à (i) des changements de pratiques d'irrigation et à (ii) un suivi des besoins de leurs cultures et de leur consommation d'eau. En effet, 8 des 10 les agriculteurs interrogés ont soit diminué la fréquence d'irrigation, soit changé les horaires soit diminué les volumes distribués. Le suivi des besoins des plantes se fait par des visites quotidiennes de leurs parcelles et/ou des capteurs. Ceci relève donc de compétences techniques qui s'apprennent et peuvent se diffuser.

Le recours à des ressources supplémentaires:

La présence de puits est une des particularités de la communauté. Ceux-ci prélèvent la ressource sur la nappe alluviale du Guadalquivir, nappe peu profonde (IGME, 2003). Les puits gérés et contrôlés par la Confédération directement, ont été pour la plupart ouverts lors de la crise en 1995, puis légalisés ou condamnés dans les années 2000. On ne connaît pas le nombre exact de puits dans la communauté mais il est estimé qu'environ 60% des agriculteurs en ont au moins un (légal ou illégal). Ces puits ne sont utilisés que lors des sécheresses ; l'eau étant de moins bonne qualité que l'eau distribuée par la communauté et leur utilisation impliquant des coûts supplémentaires (électricité, maintenance, et surveillance). Si la plupart des agriculteurs ont utilisé l'eau des puits à la fin de la campagne d'irrigation, un agriculteur l'a utilisé dès le début afin de ne pas en manquer. En effet, la disponibilité en eau des puits dépend de l'utilisation des autres irrigants : c'est un bien commun et les comportements stratégiques de consommation de la ressource sont différents. Aussi, il existe un contrôle mutuel de la part des irrigants qui discutent avec les gérants de la communauté et entre eux du niveau de l'eau dans les puits et s'accusent les uns des autres du niveau qui baisse au fil des années.

Les échanges d'eau :

Les échanges d'eau sont autorisés depuis la dernière sécheresse de 2005-2008. Les agriculteurs doivent simplement signaler au responsable de la communauté d'irrigants le volume qu'ils souhaitent céder et la transaction se fait automatiquement. Le prix et les raisons de la transaction ne sont pas supposés être publiques. Les volumes cédés pour la campagne d'irrigation de 2021 sont de 9500 m3 en moyenne et se sont surtout faits entre personnes appartenant à une même famille ou entre voisins. En contrepartie de ces échanges il n'est presque jamais question d'argent mais plutôt d'un "coup de main" dans le futur qui se traduit par des prêts de machines par exemple ou des aides et des services plus informels.

6.2.2 Les effets de la sécheresse hydraulique actuelle

Les effets sur la production:

Les effets de la sécheresse sur la production dépendent des mesures d'adaptation mises en place par les agriculteurs. Globalement, les déficits hydrauliques pour les agrumes ne sont pas désastreux pour la production dans la période de croissance des fruits c'est-à-dire durant la campagne d'irrigation : une baisse de 40%-50% des apports en eau diminuera la production de moins de 5% [21] par rapport à une année normale. Les effets se feront surtout sentir sur leur taille et leur teneur en sucre.

La plupart des amandiers dans la communauté sont jeunes et les effets des sécheresses sont importants. Plusieurs études ont montré qu'un stress hydrique imposé trop tôt dans la vie du verger peut réduire les rendements moyens [3, 23].

Les effets économiques:

Analyser les effets de la sécheresse à l'échelle de la communauté n'a pas beaucoup d'intérêt tant les profils sont divers. En effet, pour les grands agriculteurs ayant fait le choix de la monoculture et/ou de la mono-variété, cette sécheresse impacte durement la production. Cependant ce sont, pour la majorité, des entrepreneurs ayant une grande marge de manœuvre et qui peuvent faire face financièrement à cette crise avec d'autres revenus par ailleurs. Pour ceux originaires de la zone ayant opté pour la diversification des variétés d'agrumes par exemple, l'impact sur la production sera moindre. Il est important de noter que le stress hydrique sur les agrumes par exemple peut même être bénéfique : des fruits plus petits mais plus gouteux peuvent se vendre plus cher [47].

Les effets sur les pratiques d'irrigation :

Les gestionnaires de la communauté très peu habitués à recevoir des agriculteurs en temps normal ont vu en moyenne 7 agriculteurs par jour pendant la campagne d'irrigation. Ces derniers venaient se renseigner sur leurs consommations, effectuer des transactions d'eau ou avoir plus d'information sur les raisons de leur baisse de dotation. 5 des 10 irrigants interrogés avouent s'être rendu compte de leur surconsommation d'eau les années précédentes grâce à cette crise et pensent donc que cette crise ne les pénalisera pas économiquement mais plus psychologiquement (regarder sans cesse sa consommation, choisir les variétés à arroser en priorité, tenter de nouvelles pratiques d'irrigation, etc). Pour d'autres

c'est une "opportunité pour apprendre à bien irriguer" : le plafonnement de leur dotation leur permet d'optimiser davantage leur consommation d'eau et les oblige à regarder de plus près les besoins réels de leurs cultures. De telles crises ont aussi des impacts sociaux et psychologiques. Enfin, les moments de crise sont des catalyseurs de revendications. Tous les agriculteurs pensent qu'il faudrait construire davantage de réservoirs et de retenues. Globalement ils se sentent "délaissés par les politiques".

6.2.3 Une proposition de modèle

Il semblerait bien que le jeu des variétés et des cultures, l'accès à des ressources non conventionnelles, les échanges d'eau, permettent aux exploitants de faire face aux crises hydrauliques. Les apports d'eau sont certes essentiels pour la production, néanmoins, économiquement la technicité ou le pilotage de l'irrigation joue un rôle non négligeable lors des sécheresses. Lorsque les dotations en eau sont basses, les agriculteurs optimisent au mieux la ressource en choisissant les horaires et la fréquence les plus adaptés. Cette plus grande rigueur dans l'irrigation a un coût matériel (achat de senseurs, automatisation et programmation de l'irrigation) et immatériel (en temps, psychologique, etc.) et fait évoluer le travail de l'agriculteur. A mesure que les dotations en eau diminuent, les besoins en technicité augmentent jusqu'à devenir insuffisants pour pallier la perte de rendement. L'eau et le pilotage de l'irrigation ne sont donc pas totalement substituables, ou jusqu'à un certain point uniquement.

Microéconomiquement ce résultat peut se formuler par une fonction de rendement de type $Y = f(E, PI)$, avec Y la production, E l'eau et PI le pilotage de l'irrigation, qui pourrait lui-même se décomposer en compétences managériales et temps de travail comme facteurs de production. L'ensemble des combinaisons des deux facteurs de production, soit les isoquantes, conduisant à un même niveau de production (Y) est représentée sur la Figure 4.2.

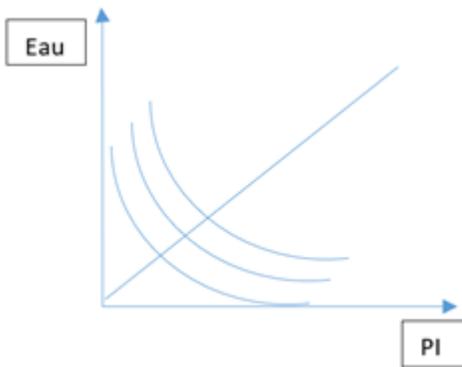


Figure 12: Isoquantes

Aussi, la prise de risque relative à l'orientation des agriculteurs vers des cultures pérennes n'est pas si importante. A première vue, on pourrait penser que la prise de risque est plus faible pour les exploitants ayant des moyens financiers très importants au contraire des petites exploitations. Néanmoins, l'écart de prix entre des terres irriguées en culture annuelles et des terres irriguées en culture pérennes compense en réalité l'investissement (mais pour cela il faut vendre l'exploitation...). En 2019 en Andalousie le prix moyen à l'hectare des terres irriguées ayant des cultures annuelles était de 29 011€ contre 42 556€ pour des terres irriguées d'agrumes (voir annexes). Rappelons que l'investissement moyen pour planter des agrumes est de 10 000€ par hectare. Ainsi, en intégrant la possibilité pour les agriculteurs de vendre leurs terres, la prise de risque associée au changement de culture ne semble pas si élevée. Ces écarts de prix sont à surveiller si la sécheresse se poursuivait plusieurs années.

Si on s'intéresse à la vulnérabilité de l'agriculture du bassin du Guadalquivir sur le long terme, c'est-à-dire sur sa trajectoire il est bien possible qu'elle ne soit pas si robuste. Reprenons le graphique, la convexité des courbes traduit la substituabilité faible entre ces deux facteurs de production. En d'autres termes, il arrivera à un moment où l'optimisation de l'irrigation ne pourra plus compenser la diminution des apports d'eau (si ce n'est déjà fait). Ainsi, la trajectoire actuelle est bien vulnérable : des baisses de dotations plus importantes où des sécheresses plus longues ont des fortes chances de réduire sévèrement les rendements. De même, dans une telle situation il est très probable que le prix des terres diminue. Ce qui revient à remettre en cause sur le long terme des décisions qui sur le court terme semblent peu risquées et rationnelles.

7 Discussions et conclusion

Cette analyse sur les effets des politiques de l'eau sur le secteur agricole nous a permis de mettre en avant les effets non anticipés des politiques de l'eau sur la possibilité d'adaptation au changement climatique du secteur agricole. En effet, le bassin du Guadalquivir est un bassin mature dont les politiques de l'eau se sont mises en place progressivement et toujours en réaction à des sécheresses importantes. Chaque crise a été l'occasion d'instaurer des politiques qui, a priori, n'étaient pas très populaires comme la baisse des concessions d'eau. Si les instruments et les évolutions agricoles ont un bilan très mitigé pour l'adaptation au changement climatique c'est aussi car le besoin de sécurisation de l'offre en eau n'est pas assuré ; il suffit de rappeler les 4 grandes sécheresses et crises qu'il y eu en 50 ans. De plus, à l'heure d'anticiper les effets du changement climatique aucun instrument n'incite réellement au changement de culture ou à l'économie de l'eau : la tarification de l'eau est presque forfaitaire (ne dépend pas du volume individuel prélevé) et les subventions pour la modernisation des systèmes d'irrigation ont entraîné une augmentation des surfaces irriguées. Les changements de pratiques culturales (choix de cultures pérennes et techniques d'irrigation installées) ont opéré une rigidification de la demande. Cependant si celle-ci pourrait à première vue être synonyme de vulnérabilité face à la sécheresse, l'observation du terrain montre que la technicité des agriculteurs indispensable pour combler la baisse de leur apport d'eau semble être un réel levier d'adaptation à court terme. Même si les échanges d'eau sont modestes en volume cet instrument visant à une allocation efficace de la ressource semble être un bon complément des règles de partage initial de la ressource (dotation) en permettant une flexibilité annuelle.

Néanmoins, les mesures d'adaptation relatives à la technicité ne peuvent pallier que partiellement la baisse des dotations en eau. C'est là un point essentiel : les agriculteurs ont encore la possibilité d'optimiser la ressource mais jusqu'à quand ce sera possible et quels en seront les effets ? Il y aura-t-il par exemple un nouvel effet Jevons ? La loi de Jevons peut en effet tout à fait se réaliser non seulement à l'échelle du bassin mais aussi à l'échelle de la parcelle : une fois que l'amélioration technologique permettant d'économiser de la ressource (amélioration des réseaux de distribution, application des systèmes d'irrigation au goutte-à-goutte, apprentissage et technicité) est réalisée la demande en eau augmente au lieu de diminuer. . . et ce phénomène entraîne des nouvelles pressions pour la gouvernance de l'eau dans un bassin qui est déjà bien en tension.

Cette analyse nous permet aussi de donner quelques pistes de réflexion pour la France et notamment l'ex-Languedoc Roussillon qui connaît depuis les années 1980 une baisse du rendement des vignes (75hl en 1980 à 56 en 2019) imputable à de nombreux facteurs. Face à ce constat, l'accès à l'irrigation est perçu comme un outil assurantiel permettant de sécuriser les rendements notamment en cas de sécheresse. Le projet Aquadomia et les aides du programme de développement rural vont dans ce sens. En seulement 10 ans 10 000 hectares ont été équipés et bénéficient aujourd'hui de l'accès à l'eau. Il est attendu un accroissement de la demande en eau alors même que les principales ressources dans la région sont déjà sous tension. Même si le développement est contrôlé (installation de systèmes d'irrigation performants et économes en eau, analyses coûts/bénéfices pour le projet) deux recommandations peuvent être tirées de notre étude :

- Le plafonnement des surfaces irriguées ne suffit pas pour contrôler la consommation en eau. L'accès à l'eau tout comme la modernisation peut entraîner une ré-optimisation de la ressource de la part des agriculteurs. En ayant accès à l'eau les agriculteurs peuvent être incités à la valoriser davantage en changeant les assolements ou leurs cultures pour des cultures à haute valeur ajoutée et . . . plus demandeuses en eau. Même si l'effet Jevons peut être limité (peut-être pas à l'échelle de la parcelle) la garantie d'eau que demande ce changement est à prendre en compte. Il est donc très probable que d'ici quelques années l'eau ne soit pas une mesure assurantienne mais bien un input non substituable et les outils de gestion et la gouvernance seront d'autant plus importants.
- Des politiques incitatives doivent être envisagées : des tarifications en fonction des volumes d'eau consommés sont à privilégier tout comme des incitations pour des cultures résistantes aux sécheresses. Il est dès aujourd'hui nécessaire d'inciter les pratiques agroécologiques de diminution du stress hydrique par d'autres leviers.

Les perspectives de ce travail, dont son approfondissement, sont nombreuses. Une première perspective serait celle de la modélisation économique de l'agriculture et de l'évolution des contraintes hydriques pour explorer la robustesse de l'agriculture sur le long terme. Les résultats de ce travail permettraient de spécifier les fonctions de production, les règles d'allocation annuelle des dotations et les échanges d'eau. Une analyse de l'impact de l'instrument échange d'eau serait également intéressante pour explorer si cet instrument est uniquement utilisé pour de la flexibilité interannuelle ou bien pour de l'adaptation tendancielle de long terme.

Annexes

1. Les instruments de gestion quantitative de l'eau

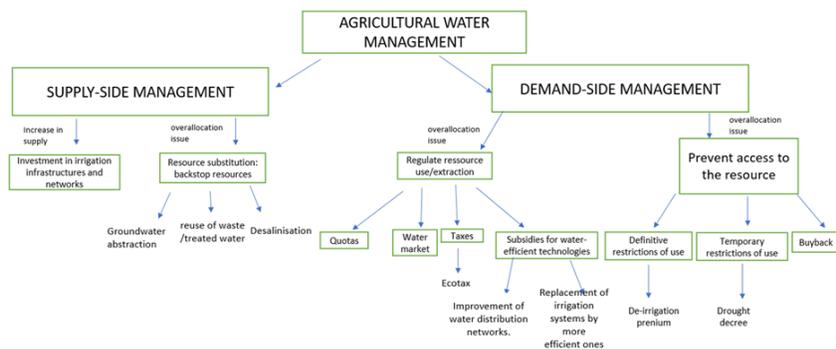


Figure 13: Les instruments de gestion quantitative de l'eau

2. Coût d'investissement (€/ha) pour des vergers d'agrumes irrigués sous culture intensive (1000 arbres/ha)

	Prix (€/ha)
Arbres	2 000
Tuteurs	600
Trous	8 000
Système d'irrigation goutte-à-goutte	12 000
Total	22 600

Table 4: Coût d'investissement (€/ha) pour des vergers d'agrumes irrigués sous culture intensive (1000 arbres/ha)

3. Prix des terres agricoles en Andalousie en 2019

Cultures	Culture herbacée pluvial	Culture herbacée irriguée	Agrome irrigué	Fruits secs pluvial	Fruits secs irrigués	Olivier pluvial	Olivier irrigué
Prix moyen (€/ha)	11 866	29 011	42 556	7 749	23 104	28 824	39 634

Table 5: Prix des terres agricoles en Andalousie en 2019

4. Les dotations en eau maximales données par types de culture dans le bassin du Guadalquivir

5. Répartition des cultures dans les 3 municipalités composant la CIMGCG

Cultivo	Dotación neta (m ³ /ha)
Cereales de invierno	1.600
Maíz grano	5.100
Arroz	12.000
Judía grano	3.400
Girasol	4.700
Soja	3.800
Patata temprana	900
Patata media estación	1.500
Remolacha azucarera	2.300
Algodón	6.000
Tabaco	4.300
Alfalfa	7.100
Maíz forrajero	4.700
Cebolla	5.900
Judía verde	400
Melón	3.400
Tomate	5.000
Cultivos herbáceos	4.700
Almendro	2.200
Cítricos	4.600
Frutales	6.300
Olivar	3.000 **
Viña (uva de mesa)	4.300
Cultivos leñosos	4.100

Figure 14: Les dotations en eau maximales données par types de culture dans le bassin du Guadalquivir, Source : [12]

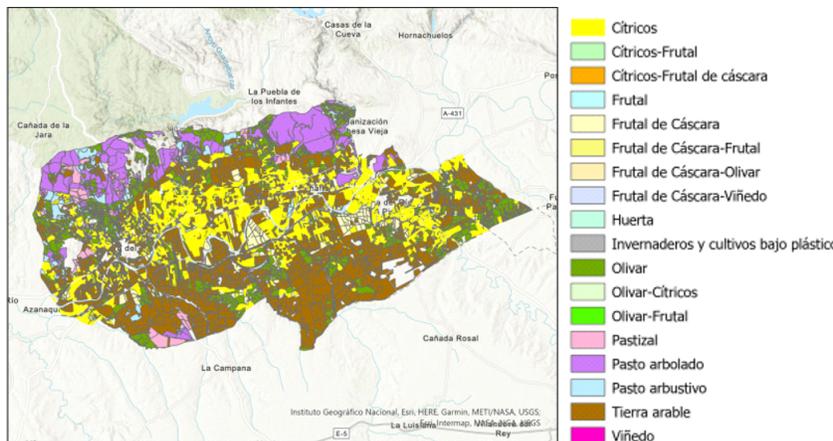


Figure 15: Répartition des cultures dans les 3 municipalités composant la CIMGCG en 2018

6. Questionnaire pour les agriculteurs de la communauté du Canal du Genil

Questionario – Comunidad de regantes del Canal del Genil

Ficha informativa (tratamiento anónimo) :

- Apellido, Nombre :
- Dirección :
- Número de teléfono :
- Situación profesional : jefe de explotación/ propietario / gerente

Preguntas generales:

1. Actualmente:

- ¿Cuántas hectáreas cultiva? ¿Cuáles son sus cultivos? ¿Qué superficie para cada cultivo?
- ¿Qué cultivos son de secano/regadío?
- ¿Cuántas personas trabajan en la explotación? (ETC)

2. Historia

- ¿Puede contarme la historia de su explotación en términos de superficie/ evolución del riego/cultivos etc?
- ¿Cuánto tiempo lleva siendo agricultor? ¿Viene usted de una familia de agricultores?
- ¿Cuánto tiempo lleva perteneciendo a la comunidad de regantes?
- ¿Cuántas hectáreas ha ampliado o reducido en los últimos años? ¿Por qué?

3. Evolución:

- ¿Cómo eligió o elige el tipo de cultivo y si lo riega o no?
- ¿Tiene limitaciones especiales para determinados cultivos?
- ¿Cultivos bajo contrato? ¿Se menciona el agua que se debe suministrar? ¿Compromiso de tiempo? ¿Qué tipo de salidas tiene para sus cultivos? (exportación / venta directa / canales tradicionales (¿cuáles son?) otros)
- ¿Desde 2000 se está orientándose hacia los cultivos perennes? ¿con alto valor añadido? Si es así, ¿por qué?
- ¿Requiere mucha inversión?
- ¿Ha cedido alguna vez un terreno?

Preguntas sobre las concesiones de agua

1. Actualmente:

- ¿Cuáles son sus concesiones de agua/ha? ¿Desde cuándo?
- ¿Mira la capacidad de los embalses para hacerse una idea de la afluencia de agua que tendrá? ¿Qué otras fuentes de información a corto o medio plazo (meteorología, boletín, asociación...) utiliza?
- ¿Le ayudaría tener información más precisa/anticipada?
- ¿Qué tipo de riego utiliza? (¿Aspersión? ¿Gravedad? ¿Goteo?)
- ¿Cómo se controla el riego? (regadío según las necesidades por ejemplo mediante sensores o visitas al campo) o más bien regadío automático sin tomar en cuenta el estado hídrico de la planta y el suelo)

2. Historia:

- ¿Tiene un historial de sus suministros de agua? ¿Han disminuido?
- ¿Han sido sus dotaciones reales las mismas que su concesión? ¿Qué años tuvo menos o más?
- ¿Qué se hace a corto plazo (un año) cuando se tiene menos agua de la prevista?
- ¿Ha hecho una inversión recientemente para cambiar el tipo de riego? ¿Por qué? ¿Qué le motivó? ¿Ha recibido alguna ayuda pública? ¿Puede decirme el valor o el porcentaje de la ayuda?
- ¿Qué le ha permitido hacer? ¿Cuáles fueron las consecuencias? ¿Disminución del uso de agua? ¿cambio de cultivo? ¿aumento de las superficies?

3. Situación de crisis

- ¿Le ha afectado la disminución de las dotaciones de agua este año? ¿Esperaba esta noticia? ¿Qué vas a hacer? ¿Qué hizo los años anteriores?
- ¿Ha participado en trasvases/transferencias de agua? En caso afirmativo, ¿cuándo?, ¿con quién?, ¿qué volumen?, ¿por qué? ¿a qué precio?

Preguntas sobre la adaptación al CC:

- ¿Ha realizado cambios importantes en sus prácticas (cambios en las variedades (por ejemplo, más resistentes a la sequía), agroecología para preservar el agua del suelo, agrosilvicultura...)
- ¿Qué está haciendo a largo plazo para adaptarse a la escasez de agua? ¿Qué desarrollos de los mencionados anteriormente se están realizando debido a esto (o en gran parte debido a esto)?
- ¿Qué podría ayudarle a afrontar mejor los años difíciles?
- ¿Cómo puede optimizar sus plantaciones con respecto a la disponibilidad de agua para aumentar su rendimiento a pesar de la incertidumbre?
- ¿Qué necesitaría para estar mejor adaptado a la sequía y al cambio climático (explore todo: formación sobre xx, seguros, información/servicios climáticos...)

Otras preguntas:

- ¿Qué piensa hacer en el futuro?
- ¿Qué opina de la situación en la cuenca?

7. Les personnes interrogées

Pays	Institution	Contact	Poste/rôle	Date
France	DRAAF	Laurent Jounin	Chargé de mission Gestion quantitative eau	03/05/21
France	OFB	Claire Magand	Chargé de mission Gestion de l'eau	11/05/21
France	Région Occitanie	Léonie Cambréa	Chargée de mission	18/05/21
France	Conseil départemental de l'Hérault	Etienne Janine	Chef de projet Hydraulique agricole	18/05/21
France	CA de l'Aude	Helene Olive-Reмон	Chargé de mission	20/05/21
France	DDTM 34	Lolita Arrighi	Pôle Eau - SERN	21/05/21
France	EPTB Hérault	Christophe Vivier	Direction	28/05/21
France	CA d'Occitanie	Christophe Lafon	Chargé de mission	31/05/21
Espagne	CHG	Victor Cifuentes	Chef du bureau de planification hydrologique	28/04/21
Espagne	Junte d'Andalousie	Jose Javier Lopez	Chef du département gestion du domaine public hydraulique	03/05/21
Espagne	Université de Cordoue	Julio Berbel	Chercheur Economie de l'eau	07/05/21
Espagne	Feragua	Francisco Carrasco	Directeur technique	26/05/21
Espagne	Communauté d'irrigants	Alberto Gonzalez	Directeur technique	03/05/21

8. L'évolution des rendements et des marges brutes de la CIMGCG entre 2014 et 2020

References

- [1] ARGÜELLES MARTÍN, A., BERBEL, J., AND GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. La evolución de la cuenca del Guadalquivir (España).
- [2] BARNETT, J., AND O'NEILL, S. Maladaptation. *Global Environmental Change* 20 (05 2010), 211–213.
- [3] BEHBOUDIAN, M., MARSAL, J., GIRONA, J., LOPEZ, G., ET AL. 4 quality and yield responses of deciduous fruits to reduce irrigation. *Horticultural reviews* 38 (2011), 149.
- [4] BERBEL, J., AND ESPINOSA-TASÓN, J. Evaluación es-post del impacto económico de la sequía hidrológica en la agricultura andaluza 2005-2008. *Congreso Nacional del Agua (Orihuela, 2021)* (2021).
- [5] BERBEL, J., AND ESTEBAN, E. Droughts as a catalyst for water policy change. analysis of Spain, Australia (MDB), and California. *Global Environmental Change* 58 (09 2019), 101969.
- [6] BERBEL, J., EXPÓSITO, A., GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., AND MATEOS, L. Effects of the irrigation modernization in Spain 2002–2015. *Water Resources Management* 33, 5 (2019), 1835–1849.
- [7] BERBEL, J., GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A., CAMACHO, E., AND MONTESINOS, P. Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study. *Water Resources Management* 29, 3 (2015), 663–678.
- [8] BERBEL, J., PEDRAZA, V., AND GIANNOCCARO, G. The trajectory towards basin closure of a European river: Guadalquivir. *International Journal of River Basin Management* 11, 1 (2013), 111–119.
- [9] BORREGO-MARÍN, M. M., GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., AND BERBEL, J. Estimation of cost recovery ratio for water services based on the system of environmental-economic accounting for water. *Water Resources Management* 30, 2 (2016), 767–783.
- [10] CARRE, C., MEYBECK, M., GARNIER, J., CHONG, N., DEROUBAIX, J.-F., FLIPO, N., GOUTTE, A., LE PICHON, C., SEGUIN, L., AND TOURNEBIZE, J. *River Basin Visions: Tools and Approaches from Yesterday to Tomorrow*. 06 2020.
- [11] CHG. Informes hidrográficos de la cuenca del Guadalquivir (2010-2020), (2020).
- [12] CHG. Plan hidrológico de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir (2015-2021).
- [13] CHG. Actas de la reunión del comité permanente de la comisión de desembalse de la confederación hidrográfica del Guadalquivir.
- [14] CHG. Canon de regulación.
- [15] DAVOUDI, S., SHAW, K., HAIDER, L., QUINLAN, A., PETERSON, G., WILKINSON, C., FÜNFELD, H., MCEVOY, D., AND PORTER, L. Resilience: A bridging concept or a dead end? “reframing” resilience: Challenges for planning theory and practice interacting traps: Resilience assessment of a pasture management system in northern Afghanistan urban resilience: What does it mean in planning practice? Resilience as a useful concept for climate change adaptation? The politics of resilience for planning: A cautionary note. *Planning Theory Practice* 13 (06 2012), 299–333.
- [16] ERDLENBRUCH, K., LOUBIER, S., MONTGINOUL, M., MORARDET, S., AND LEFEBVRE, M. La gestion du manque d'eau structurel et des sécheresses en France. *Sciences Eaux Territoires*, 2 (2013), 78–85.
- [17] EXPÓSITO, A., AND BERBEL, J. Microeconomics of deficit irrigation and subjective water response function for intensive olive groves. *Water* 8, 6 (2016), 254.
- [18] EXPÓSITO, A., AND BERBEL, J. Sustainability implications of deficit irrigation in a mature water economy: A case study in southern Spain. *Sustainability* 9 (06 2017), 1144.
- [19] FIELD, C., BARROS, V., STOCKER, T., AND QIN, D. AND, D. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2012.
- [20] GARCÍA, V. A., AND AGUDO, P. A. La ideología del agua en España: desmontando el discurso. *Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica* 28 (2018), 37–51.
- [21] GARCÍA-TEJERO, I., DURÁN-ZUAZO, V. H., ARRIAGA-SEVILLA, J., AND MURIEL-FERNÁNDEZ, J. L. Impact of water stress on citrus yield. *Agronomy for Sustainable Development* 32, 3 (2012), 651–659.
- [22] GARIN, P., LOUBIER, S., AND CAPARDON, M. Irrigation individuelle, irrigation collective : état des lieux et contraintes. *Sciences Eaux et Territoires Numéro* 11 (01 2013), 86–89.
- [23] GOLDHAMER, D. A., AND FERERES, E. Establishing an almond water production function for California using long-term yield response to variable irrigation. *Irrigation Science* 35, 3 (2017), 169–179.
- [24] GRAVELINE, N. Combining flexible regulatory and economic instruments for agriculture water demand control under climate change in Beauce. *Water Resources and Economics* 29 (2020).

- [25] GRAVELINE, N., AND MÉREL, P. Intensive and extensive margin adjustments to water scarcity in france's cereal belt. *European Review of Agricultural Economics* 41, 5 (2014), 707–743.
- [26] GRUÈRE, G., ASHLEY, C., AND CADILHON, J. Reforming water policies in agriculture : Lessons from past reforms. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers* 113 (2018).
- [27] GUTIERREZ-MARTIN, C., GÓMEZ, C., ET AL. Assessing irrigation efficiency improvements by using a preference revelation model. *Spanish Journal of Agricultural Research* 9, 4 (2011), 1009–1020.
- [28] HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4, 1 (1973), 1–23.
- [29] IPCC. Summary for policymakers in: Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. part a: Global and sectoral aspects. contribution of working group ii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (cambridgecambridge, united kingdom and new york, ny, usa,) ed c b field et al pp 1–32.
- [30] JUNTA DE ANDALUCÍA. Agenda del regadío andaluz: Horizonte 2015. *Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente* (2002).
- [31] KOLBERG, S., BERBEL, J., AND DIOS-PALOMARES, R. The closure of the Guadalquivir river basin: A DPSIR framework approach.
- [32] LEHNER, B., DOELL, P., ALCAMO, J., HENRICH, T., AND KASPAR, F. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: A continental, integrated analysis. *Climatic Change* 75 (04 2006), 273–299.
- [33] LIN, B. Resilience in agriculture through crop diversification: Adaptive management for environmental change. *BioScience* 61 (03 2011), 183–193.
- [34] LLAMAS, M. R. Consideraciones sobre la sequía de 1991 a 1995 en España. *Ingeniería del agua* 4, 1 (1997).
- [35] LOCH, A., ADAMSON, D., AND DUMBRELL, N. The fifth stage in water management: Policy lessons for water governance. *Water Resources Research* 56, 5 (2020).
- [36] MAGRAMA, AND CEDEX. Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua.
- [37] MAPA. Plan nacional de regadíos - horizonte 2008.
- [38] MARM. Evolución de la renta agraria 1990–2020.
- [39] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. *Libro blanco del Agua en España*. 2020.
- [40] MOLLE, F. Development trajectories of river basins: a conceptual framework. *Research Report, Colombo: IWMI*. 72 (2003).
- [41] MOLLE, F., WESTER, P., ET AL. River basin trajectories: An inquiry into changing waterscapes. *River basin trajectories: societies, environment and development* (2009).
- [42] MOLLE, F., WESTER, P., AND HIRSCH, P. River basin closure : processes, implications and responses. *Agricultural Water Management* 97 (2010).
- [43] OCDE. Mitigating droughts and floods in agriculture: Policy lessons and approaches. *OECD Studies on Water* (2016).
- [44] PALOMO-HIERRO, S., GÓMEZ-LIMÓN, J. A., AND RIESGO, L. Water markets in Spain: Performance and challenges. *Water* 7, 2 (2015), 652–678.
- [45] RODRÍGUEZ DÍAZ, J., WEATHERHEAD, K., KNOX, J., AND CAMACHO, E. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. *Regional Environmental Change* 7 (09 2007), 149–159.
- [46] SAMPERO SÁNCHEZ, D., AND DEL MORAL ITUARTE, L. Tres décadas de política de aguas en Andalucía. análisis de procesos y perspectiva territorial. *Cuadernos Geográficos* 53, 1 (2014).
- [47] STEDUTO, P., HSIAO, T. C., FERERES, E., RAES, D., ET AL. *Crop yield response to water*, vol. 1028. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2012.
- [48] SWYNGEDOUW, E. Modernité et hybridité. nature, regeneracionismo et la production du paysage aquatique espagnol 1890-1930. *Géographie, économie, société* 9 (03 2007).

